ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Принятые XXVI съездом КПСС «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусматривают дальнейшее интенсивное развитие электрификации нашей страны. Важнейшую роль в электроэнергетике всех отраслей народного хозяйства играют миллионы эксплуатирующихся электрических машин и трансформаторов. Обеспечение их надежной и бесперебойной работы — задача очень ответственная, и решить ее можно лишь при четко организованной системе ремонта, что послужило основанием для создания сети специализированных электроремонтных заводов. Однако пока еще большая часть работ по ремонту электрических машин и трансформаторов выполняется в условиях сравнительно небольших электроремонтных цехов, участков и мастерских, существующих и вновь создаваемых на многих предприятиях практически во всех отраслях народного хозяйства.

Опыт эксплуатации электрических машин и трансформаторов свидетельствует о том, что наиболее часто повреждающимися их частями являются обмотки и изоляция, на долю которых приходится свыше 80% всех трудозатрат по ремонтам этих видов электрооборудования. Поэтому проблема подготовки высококвалифицированных ремонтных рабочих — электромонтеров-обмотчиков и изолировщиков по ремонту электрических машин и трансформаторов — является задачей большой государственной важности.

В своей практической работе электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин и трансформаторов должен уметь по определенным признакам не только устанавливать характер и причину возникновения неисправностей, но и определять способы их быстрого и качественного устранения. Для этого ему необходимо хорошо знать принцип действия и конструкцию ремонтируемого электрооборудования, процессы, происходящие в электрических машинах и трансформаторах при их работе, современную технологию ремонта, способы модернизации поступающего в ремонт старого электрооборудования, т. е. он должен обладать широким техническим кругозором и высокой профессиональной подготовкой.

Особо следует отметить, что если на крупных электроремонтных заводах возможна узкая специализация рабочего на определенной технологической операции, то в условиях небольших электроремонтных цехов, участков и мастерских один и тот же рабочий зачастую выполняет целый комплекс работ по ремонту обмоток, а иногда и полностью ремонтирует электрическую машину или трансформатор от начала до конца. Такой специалист должен обладать обширными теоретическими знаниями и твердыми практическими навыками по всему комплексу обмоточно-изоляционных работ, в этом ему должно помочь предлагаемое учебное пособие.

ГЛАВА I
УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. Назначение и классификация трансформаторов

Силовые трансформаторы используются для преобразования напряжения в сетях переменного тока. Если трансформатор повышает напряжение, его называют *повышающим,* если понижает — *понижающим.* Следует, однако, отметить, что трансформатор обладает свойством обратимости, т. е. один и тот же аппарат может быть использован как для повышения, так и для понижения напряжения.

Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, основными частями которого являются магнитопровод (магнитная система) и обмотки. Магнитопровод вместе с насаженными на него обмотками называют *активной частью трансформатора.* Другие конструктивные элементы — крепления, изоляционные вводы, бак и т. д. — неактивные, вспомогательные части.

Трансформаторы классифицируют следующим образом:

по виду охлаждения — с воздушным (сухие) и масляным (масляные) охлаждением;

по числу фаз — однофазные и многофазные, в том числе трехфазные трансформаторы, получившие наиболее широкое распространение в электрических сетях;

по форме магнитопровода — стержневые, броневые, бронестержневые, тороидальные;

по числу обмоток — двухобмоточные и многообмоточные (одна первичная и две или более вторичных обмоток);

по конструкции обмоток — с концентрическими и чередующимися обмотками.

На специальной заводской табличке, прикрепленной на трансформаторе, а также в его заводском паспорте указывают номинальные данные, т. е. основные показатели (мощность, напряжение, сила тока, кпд и др.), характеризующие режим работы, на который рассчитан и для которого предназначен данный трансформатор заводом-изготовителем. Термин «номинальный» применяется также к величинам, не указаниым на заводской табличке, но относящимся к номинальному режиму (например, номинальные потери энергии в стали трансформатора, номинальные потери энергии в меди его обмоток, номинальная потеря напряжения и др.).

Трансформатор характеризуется также номинальными условиями места установки и охлаждающей среды. Для трехфазных

силовых масляных трансформаторов общего назначения номинальные условия места установки — высота над уровнем моря не более 1000 м.

Номинальной мощностью двухобмоточного трансформатора является номинальная мощность каждой из его обмоток, а в трехобмоточном трансформаторе — наибольшая из номинальных мощностей трех его обмоток. Номинальной мощностью обмотки трансформатора является полная ее мощность на основном ответвлении (так как обмотка может иметь несколько ответвлений), которая гарантируется заводом-изготовителем при номинальном режиме работы в номинальных условиях места установки и охлаждающей среды.

Номинальный ток обмотки трансформатора определяется по ее номинальной мощности и напряжению.

Силовые трансформаторы общего назначения в зависимости от номинальной мощности и напряжения условно подразделяются на габариты (группы):

I — трансформаторы мощностью до 100 кВ·А с напряжением обмотки высшего напряжения (ВН) до 35 кВ;

II — мощностью свыше 100 и до 1000 кВ·А, напряжением (ВН) до 35 кВ;

III — мощностью свыше 1000 до 6300 кВ·А, напряжением до 35 кВ;

IV — мощностью свыше 6300 до 32 000 кВ·А, напряжением до 35 кВ;

V — мощностью свыше 32 000 кВ·А, напряжением свыше 35 до 110 кВ.

Условное обозначение типа трансформатора состоит из двух частей — буквенной и цифровой. Первая буква обозначает число фаз: О — однофазный, Т — трехфазный. Перед этой буквой иногда (для специальных трансформаторов) может стоять еще буква, указывающая на особенности конструкции или назначение трансформатора, например А — автотрансформатор, Э — электропечной и т. п. На втором месте ставятся буквы, означающие систему охлаждения, например М — естественная циркуляция масла и воздуха (естественное масляное охлаждение), Д — принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла, ДЦ — принудительная циркуляция воздуха и масла, Ц — принудительная циркуляция воды и масла, С — естественное воздушное охлаждение и открытое исполнение (сухой), СЗ — то же, но исполнение защищенное. На третьем месте ставится буква, указывающая дополнительные особенности трансформатора, например Н свидетельствует о том, что напряжение трансформатора регулируется под нагрузкой.

Цифровая часть обозначения типа трансформатора состоит из дроби, где числитель означает номинальную мощность трансформатора в киловольт-амперах, а знаменатель — напряжение (класс напряжения) обмотки ВН в киловольтах. У трансформаторов, изготовленных после 1975 г., к указанному выше цифрово-

му обозначению добавляется год разработки (две последние цифры), а также обозначение климатического исполнения и категории размещения.

§ 2. Однофазные трансформаторы

Однофазные трансформаторы по форме магнитной системы бывают стержневыми и броневыми.

У стержневых однофазных трансформаторов (рис. 1, *а*) два ярма, замыкающих магнитную систему, прилегают к торцевым

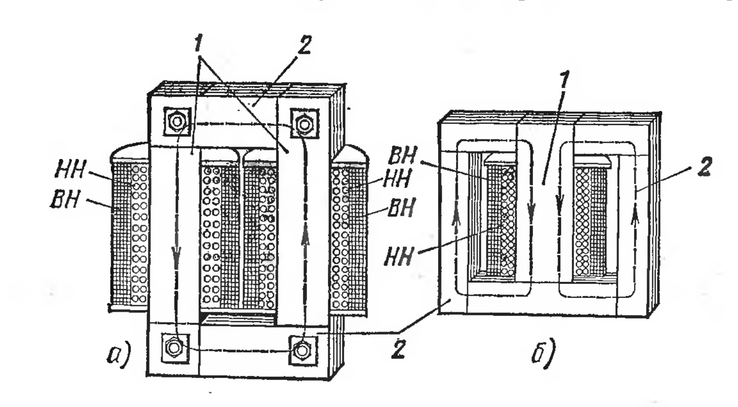


Рис. 1. Однофазные трансформаторы:
а — стержневой, *б* — броневой; *ВН* — обмотка высшего напряжения, *НН* — обмотка низшего напряжения; *1* — стержень, *2* — ярмо

поверхностям обмоток, не охватывая их боковых поверхностей; стержни, несущие обмотки, располагаются вертикально.

Броневые однофазные трансформаторы (рис. 1, *б*) отличаются от стержневых тем, что у них ярма охватывают не только торцевые, но и боковые поверхности обмоток. Стержни броневого однофазного трансформатора могут располагаться горизонтально или вертикально.

Промежуточным между броневым и стержневым является бронестержневой магнитопровод, часть стержней которого имеет боковые ярма. Бронестержневой магнитопровод однофазного трансформатора имеет вертикально расположенные стержни для установки на них обмоток, как правило, цилиндрической формы. В то же время его верхние, нижние и боковые ярма образуют разветвленную магнитную цепь и охватывают обмотки отдельных стержней с боковых сторон. Этот тип магнитопровода применяется для трансформаторов больших мощностей.

Магнитопроводы трансформаторов собирают из пластин, выштампованных из тонколистовой электротехнической стали.

По способу соединения стержней с ярмами магнитопроводы разделяются на стыковые, когда ярма собирают отдельно от

стержней, а затем их соединяют (стыкуют) между собой, и шихтованные, когда стержни и ярма не являются отдельными элементами, а пластины стержней и ярм «переплетаются» (шихтуются). Магнитопровод может иметь и промежуточную конструкцию, когда пластины нижнего ярма шихтуются с пластинами

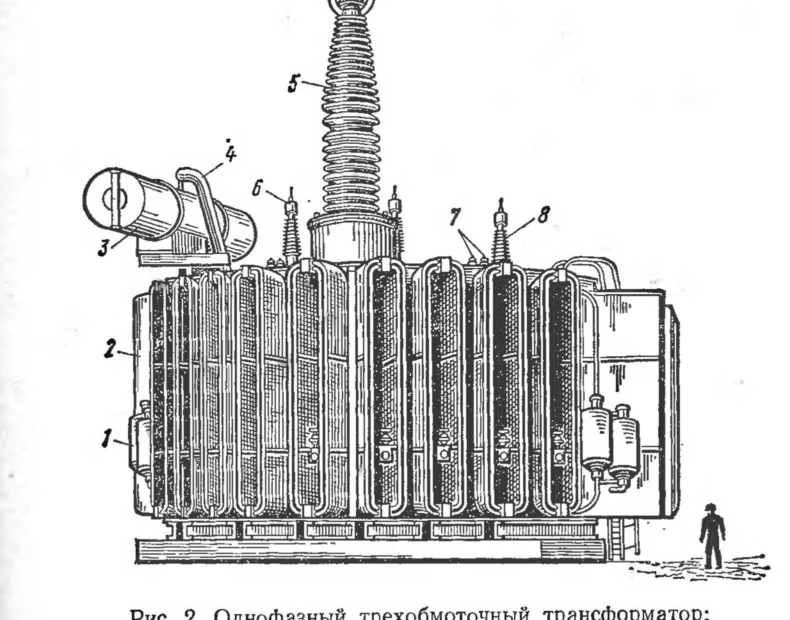


Рис. 2. Однофазный трехобмоточный трансформатор:
1 — фильтр регенерации масла, *2* — радиатор, *3* — расширитель, *4* — выхлопная труба, *5* — ввод высшего напряжения, *6* — ввод среднего напряжения, *7* — вводы низшего напряжения, *8* — ввод нейтрали ВН

стержней, а верхнее ярмо устанавливается встык. В отечественном трансформаторостроении магнитопроводы стыковой конструкции не применяются.

По форме стыка стержневых и ярмовых пластин шихтованные магнитопроводы могут выполняться с прямым или косым стыком.

В однофазных трансформаторах начала обмоток обозначают буквами А, а, концы X, х. Большие буквы относятся к обмоткам высшего напряжения (ВН), а малые — к обмоткам низшего напряжения (НН). Если в однофазном трансформаторе помимо первичной и вторичной обмоток есть и третья обмотка с промежуточным (средним) напряжением (СН), то ее начало обозначают Am, а конец — Xm.

Силовой однофазный трехобмоточный понижающий трансформатор большой мощности показан на рис. 2.

Тремя однофазными трансформаторами можно пользоваться для трансформации напряжения в сетях трехфазного тока, однако здесь чаще всего применяются трехфазные трансформаторы.

§ 3. Трехфазные трансформаторы

Силовой трехфазный трансформатор с естественным масляным охлаждением (рис. 3) состоит из следующих основных частей: магнитопровода, обмоток, стального бака и крышки.

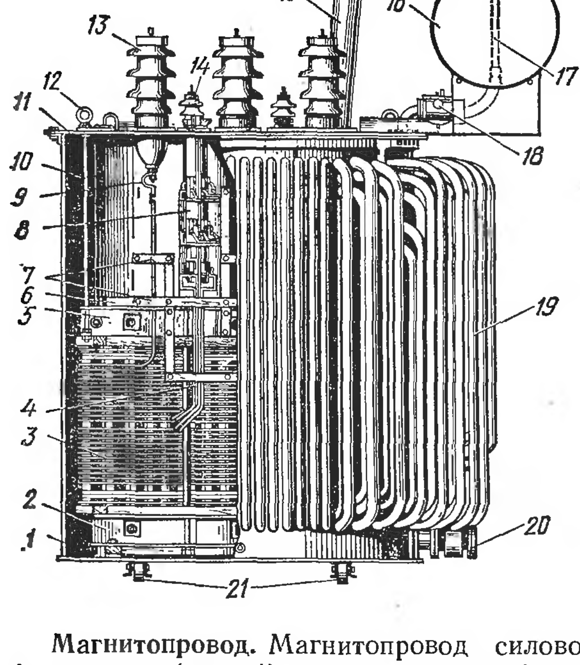


Рис. 3. Трехфазный силовой трансформатор мощностью 1000 кВ·А с масляным охлаждением:

1 — бак, *2* — нижняя ярмовая балка магнитопровода, *3* — обмотка ВН, *4* — регулировочные отводы к переключателю, *5* — верхняя ярмовая балка магнитопровода, *6* — магнитопровод, *7* — деревянные планки, *8* — отвод от обмотки ВН, *9* — переключатель, *10* — подъемная шпилька, *11* — крышка бака, *12* — подъемное кольцо (рым), *13* — ввод ВН, *14* — ввод НН, *15* — выхлопная труба, *16* — расширитель (консерватор), *17* — маслоуказатель, *18* — газовое реле, *19* — циркуляционные трубы, *20* — маслоспускной кран, *21* — катки

Магнитопровод. Магнитопровод силового трехфазного трансформатора (рис. 4) представляет собой жесткую конструкцию, собранную из штампованных пластин электротехнической стали толщиной 0,28; 0,35 или 0,5 мм и состоящую из трех вертикальных стержней *1*, связанных верхним *2* и нижним *12* ярмами. На вертикальных стержнях располагаются обмотки трансформатора. Ярма соединяют стержни магнитопровода и таким образом создают замкнутый магнитный контур. Для уменьшения вихревых токов листы стали магнитопровода покрыты тонкой пленкой лака № 202 или КФ-965. Для изготовления магнитопроводов применяют также рулонную электротехническую сталь с жаропрочным изоляционным покрытием, не требующую дополнительного покрытия лаком.

Поперечное сечение стержней и ярем магнитопроводов делают многоступенчатым (рис. 5, *а*) с таким расчетом, чтобы макси-

мально приблизить их сечения к кругу и лучше использовать пространство внутри полого цилиндрического каркаса, на котором намотана обмотка.

В ступенчатых стержнях магнитопроводов мощных трансформаторов образуются каналы (рис. 5, *б*), увеличивающие возможность отвода теплоты.

Ярма и стержни магнитопроводов должны быть прочно спрессованы. Магнитопроводы трансформаторов старых конструкций изготовлялись из листов горячекатаной стали, их ярма и стержни спрессовывались с помощью шпилек, пропущенных через отверстия, имеющиеся в штампованных листах стали. Шпильки

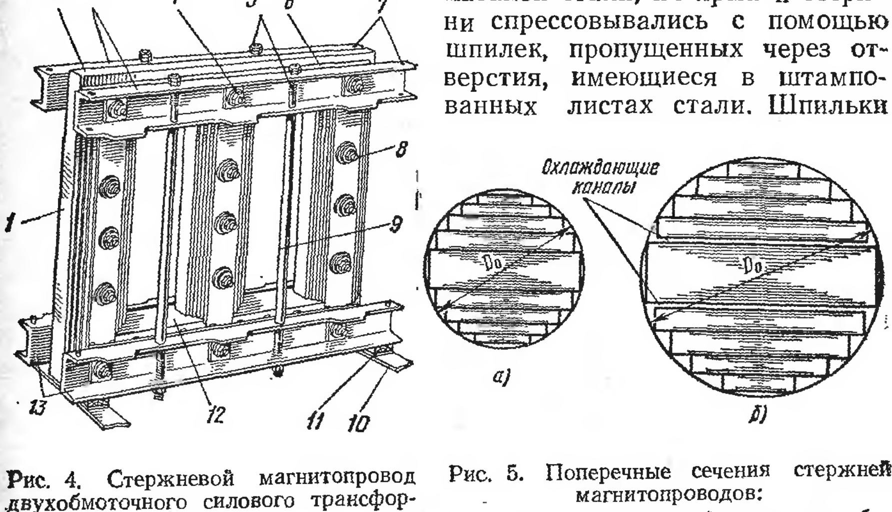


Рис. 4. Стержневой магнитопровод двухобмоточного силового трансформатора:

1 — стержень магнитопровода, *2* — верхнее ярмо, *3* — ярмовые балки верхнего ярма, *4* — горизонтальная прессующая шпилька ярма, *5* — вертикальная прессующая шпилька, *6* — изолирующая прокладка, *7* — отверстия для установки подъемных шпилек, *8* — горизонтальная прессующая шпилька стержня магнитопровода, *9* — изоляционная трубка вертикальной прессующей шпильки, *10* — стальная пластина, *11* — деревянная планка, *12* — нижнее ярмо, *13* — ярмовые балки нижнего ярма

Рис. 5. Поперечные сечения стержней магнитопроводов:

а — трансформатора малой мощности, *б* — трансформатора большой мощности; D_0 — диаметр описанной окружности стержня

изолировали от стали стержней и ярем с помощью бумажно-бакелитовых трубок, электрокартонных шайб и других изоляционных деталей.

Шпилечные способы прессовки ярма и стержня магнитопровода трансформатора показаны на рис. 6, *а*, *б*.

Магнитопроводы современных трансформаторов изготовляют из холоднокатаной анизотропной стали марок 3414, 3415 и других с прессовкой ярем и стержней бесшпилечным способом.

Для прессовки ярем бесшпилечным способом применяют стальные полубандажи (рис. 7), стягивающие ярмовые балки *1* и представляющие собой две сложенные вместе стальные ленты толщиной 2—3 мм и шириной 40—60 мм, к концам которых при-

варены стальные с резьбой шпильки 7, пропущенные через пластины 5 из прочного электроизоляционного материала (стеклопластика и т. п.). На резьбовые концы шпилек 7 навертываются гайки 6, создающие усилия, необходимые для прессовки ярма.

Стержни магнитопроводов стягиваются бандажами из стеклоленты.

Магнитопровод с прессующими балками и деталями крепления составляет так называемый остов трансформатора. На остове устанавливаются обмотки, укрепляются отводы, переключатели, а у большинства трансформаторов I, II и III габаритов также и крышка бака с вводами и прочей арматурой.

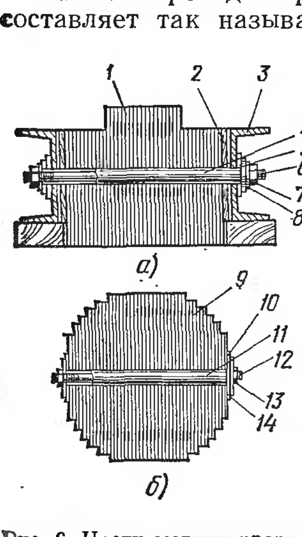


Рис. 6. Части магнитопровода, спрессованные сквозными шпильками:

а — ярмо, б — стержень; 1 — активная сталь ярма, 2 — электрокартонная изоляция, 3 — ярмовая балка, 4 и 11 — бумажно-бакелитовые трубки, 5 и 10 — изоляционные шайбы, 6 и 12 — сквозные стяжные шпильки, 7 и 13 — гайки, 8 и 14 — стальные шайбы, 9 — активная сталь стержня

В работающем трансформаторе его магнитопровод и другие металлические части находятся в сильном электрическом поле, возникающем между обмотками и заземленными частями. Находящиеся в этом поле металлические части трансформатора заряжаются. Чтобы избежать этого нежелательного явления, активная сталь магнитопровода и его стальные крепления должны быть надежно заземлены. В противном случае между этими элементами, находящимися в электрическом поле обмоток, а также между ними и баком трансформатора может возникнуть значительная эдс. Величина наводимой эдс может превзойти электрическую прочность небольших изоляционных промежутков между металлическими частями и вызвать между ними электрические разряды. Эти разряды внутри бака приводят к разложению трансформаторного масла. Поэтому в магнитопроводе активная сталь и все массивные стальные крепления (в основном ярмовые балки) заземляют с таким расчетом, чтобы они имели один общий потенциал — потенциал бака (земли).

Заземлению подлежат все четыре ярмовые балки и другие стальные части, за исключением стальных шпилек стержней, ярем и прессующих накладок стержней. Способы заземления, число и расположение заземляющих соединений зависят от конструкции магнитопровода, т. е. от связи между собой металлических частей (наличия соединений между собой ярмовых балок), связи ярмовых балок с баком или с крышкой бака и т. п.

Наиболее распространенный способ заземления магнитопровода трансформаторов общепромышленного назначения мощностью до 1000 кВ·А показан на рис. 8.

Обмотки. Обмотки трансформатора выполняются из изолированного обмоточного провода и, кроме того, имеются различные изоляционные детали, предназначенные для дополнительной защиты обмоток от электрического пробоя. С помощью изоляционных деталей предотвращается возможность смещения обмоток под действием больших электродинамических сил, возникающих в обмотках при коротких замыканиях в цепи нагрузки или в самой обмотке, а также создаются каналы, улучшающие условия охлаждения обмоток.

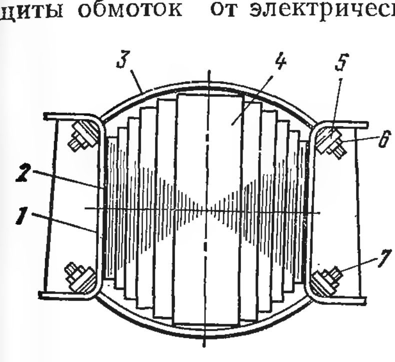


Рис. 7. Прессовка ярма бесшпилечным способом:

1 — ярмовая балка, *2* — изоляция под ярмовой балкой, *3* — полубандаж из двух стальных полос, *4* — ярмо, *5* — изоляционная пластина, *6* — гайка, *7* — резьбовой конец шпильки

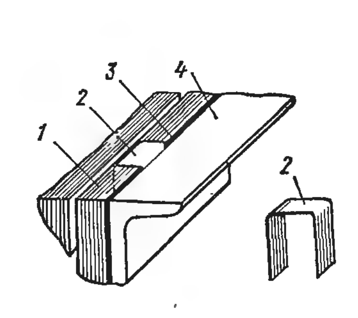


Рис. 8. Установка заземления магнитопровода:

1 — первый пакет ярма, *2* — заземляющая лента, *3* — изоляционная прокладка, *4* — ярмовая балка

По взаимному расположению на стержне обмотки разделяются на концентрические и чередующиеся (рис. 9): концентрические — это обмотки цилиндрической формы, концентрически расположенные на стержне магнитопровода; чередующиеся — это обмотки ВН и НН трансформатора, чередующиеся в осевом направлении на стержне.

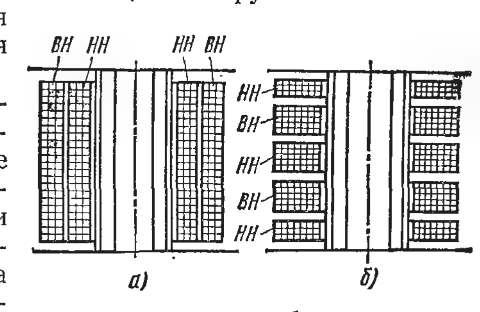


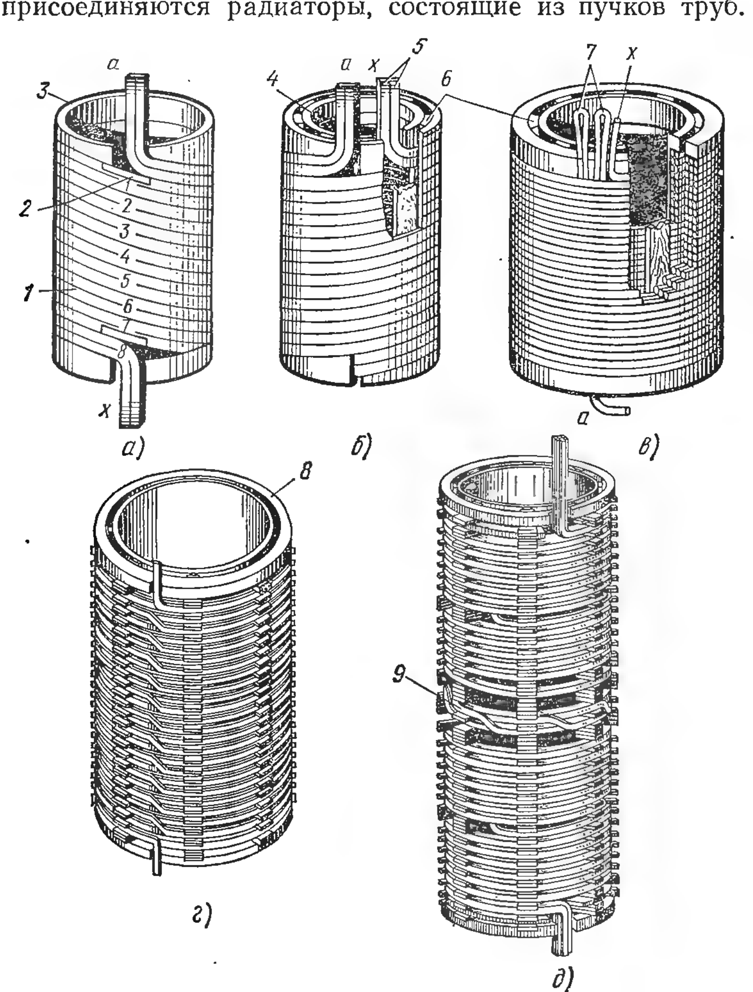
Рис. 9. Расположение обмоток высшего (ВН) и низшего (НН) напряжений на стержне магнитопровода:

а — концентрическое, *б* — чередующееся

В отечественном трансформаторостроении наибольшее применение получили однослойные, двухслойные, многослойные и непрерывные цилиндрические обмотки (рис. 10), концентрически насаживаемые на стержни магнитопровода.

Бак. Баки трансформаторов отличаются многообразием конструктивных исполнений, определяемых главным образом мощностью трансформатора и условиями его работы. Чем больше мощность трансформатора, тем большее количество теплоты должно

отводиться из трансформатора в окружающую его среду. Баки трансформаторов имеют вид резервуаров, преимущественно овальной формы. У трансформаторов небольшой (до 50 кВ·А) мощности, где количество отводимой теплоты невелико, баки имеют гладкие стенки. Баки более мощных трансформаторов снабжены радиаторами — трубками круглого или овального сечения, увеличивающими поверхность охлаждения масла и способствующими его циркуляции внутри бака. У мощных трансформаторов (выше 1000 кВ·А) баки снабжены патрубками с фланцами, к которым присоединяются радиаторы, состоящие из пучков труб.



Ри. 10. Обмотки силовых трансформаторов:

а — однослойная, *б* — двухслойная, *в* — миогослойная, *г* — непрерывная, *д* — винтовая; *1* — витки из прямоугольного провода, *2* — электрокартониая коробочка для усиления изоляции крайиих витков обмотки, *3* — разрезные выравнивающие кольца, *4* — бумажно-бакелитовый цнлнндр, *5* — конец первого слоя обмотки, *6* — вертикальные рейки, *7* — внутренние ответвления обмотки, *8* — опорное нзоляцнонное кольцо, *9* — транспозиция внтков обмотки

Радиаторы выполняются без дополнительного охлаждения труб вентиляторами и с дополнительным охлаждением труб вентиляторами, установленными между трубами радиатора (рис. 11).

Радиаторы состоят из большого числа (от 8 до 100 и более) вертикальных труб, образующих параллельные пути для циркулирующего в них масла. Вверху и внизу трубы вварены в верхнюю

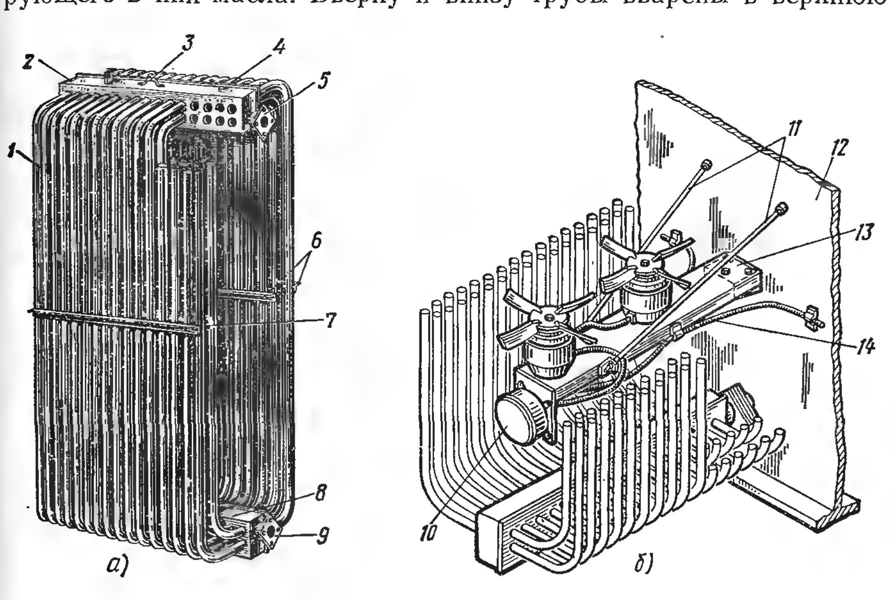


Рис. 11. Радиаторы масляных трансформаторов:

а — без дутьевых вентиляторов, *б* — с дутьевыми вентиляторами; *1* — циркуляционная труба, *2* и *8* — верхний и нижний коллекторы, *3* — скоба для подъема радиатора, *4* — пробка для выпуска воздуха, *5* и *9* — верхний и нижний фланцы, *6* — угольники жесткости, устанавливаемые на поверхности труб, *7* — труба жесткости, устанавливаемая между трубами радиатора, *10* — распределительная коробка, *11* — растяжки, 12 — стенка бака, *13* — кронштейн, *14* — кабель подводки электропитания к электродвигателям вентиляторов

и нижнюю сборные коробки (коллекторы), которые с помощью патрубков с фланцами присоединяются к баку. Нагретое масло попадает из бака в верхний коллектор, затем в трубы и, отдавая им теплоту, охлаждается. Охлажденное масло через нижний коллектор поступает в нижнюю часть бака. Радиаторы выполняют обычно съемными, чтобы облегчить их ремонт.

У баков мощных трансформаторов имеются патрубки с фланцами для присоединения к баку фильтров очистки и сушки масла, а также краны для спуска и взятия проб масла.

Бак устанавливают на тележке, снабженной катками, для перемещения трансформатора по специальным рельсам в пределах территории распределительного устройства (РУ).

В верхней части стенок бака приварены крюки под стропы для подъема трансформатора.

Крышка. Крышка трансформатора служит для герметизации бака. На ней обычно размещают расширитель (консерватор), га-

зовое реле, выхлопную трубу, переключатель, вводы, термометр и различные приборы, обеспечивающие длительную нормальную работу трансформатора.

Расположение на крышке трансформатора расширителя, газового реле и выхлопной трубы показано на рис. 12.

Расширитель (консерватор) служит для компенсации меняющегося объема масла вследствие изменения его температуры из-за колебаний температуры окружающего воздуха, а также изменяющейся нагрузки трансформатора (а следовательно, и количества выделяемой трансформатором теплоты). Расширитель обеспечивает заполнение маслом основного бака трансформатора при любых условиях его работы. Кроме того, благодаря наличию расширителя уменьшается поверхность соприкосновения с воздухом трансформаторного масла, что ослабляет процесс его окисления и «старения».

Рис. 12. Размещение расширителя, газового реле и выхлопной трубы на крышке трансформатора:

1 — газовое реле, *2* — пробковый кран на маслопроводе, соединяющем газовое реле с расширителем, *3* — расширитель, *4* — указатель уровня масла в расширителе, *5* — пробка маслоналивного отверстия расширителя, *6* — выхлопная труба

Газовое реле реагирует на все внутренние повреждения, сопровождающиеся выделением газов, а также понижением уровня масла в баке. Для установки на трансформаторах применяют газовые реле двух типов — поплавковые ПГ-22 и чашечные РГЧЗ-66.

Реле ПГ-22 состоит из металлического корпуса, внутри которого расположены пустотелые поплавки с установленными на них ртутными выключателями. Поплавки и находятся во взвешенном состоянии в масле реле.

При внутренних повреждениях трансформатора (витковое замыкание, пробой изоляционных деталей и др.) масло и твердая изоляция начинают разлагаться, выделяя при этом газы, которые, проходя по маслопроводу, попадают в реле и, скопляясь в его верхней части, вытесняют оттуда масло. При этом верхний поплавок опускается и прикрепленный к нему ртутный выключатель замыкает цепь звуковой сигнализации на щите управления. В случае развития аварии внутри трансформатора масло из бака под давлением газа устремляется через маслопровод в расширитель, воздействуя при этом на нижний поплавок, который опрокидывается, а прикрепленный к нему выключатель замыкает цепь отключения трансформатора.

Реле РГЧЗ-66 отличаются от ПГ-22 в основном тем, что элементы реле состоят не из поплавков, а из плоскодонных круглых

металлических чашек с установленными в них изоляционными стойками, на выступах которых закреплены подвижные контакты. Неподвижные контакты закреплены соответственно на корпусе реле. Когда корпус реле заполнен маслом, чашки верхнего и нижнего элементов приподняты и контакты разомкнуты.

При снижении уровня масла в реле чашки под воздействием массы масла в них опускаются и замыкают подвижный контакт с неподвижным, вызывая соответствующее действие сигнализации или отключение трансформатора.

Выхлопная (предохранительная) труба представляет собой пустотелый стальной цилиндр, один конец которого сообщается с баком, а другой закрыт мембраной (стеклянным диском). При повышении давления в баке, вызванного аварийным процессом, газы и масло разрушают мембрану и выбрасываются наружу.

Переключатели служат для регулирования напряжения трансформатора в сравнительно небольших пределах (обычно ±5%) путем соответствующего изменения числа последовательно включенных витков в обмотках, а следовательно, и коэффициента трансформации, за счет переключения регулировочных ответвлений обмоток.

Регулирование напряжения необходимо для того, чтобы обеспечить достаточно стабильное напряжение у абонентов — потребителей энергии, находящихся на различных расстояниях от электростанций и распределительных подстанций.

Применяют два способа регулирования: переключением без возбуждения ПБВ и регулированием под нагрузкой РПН.

При регулировании ПБВ трансформатор полностью отключается от сети, т. е. на время переключения подача энергии прерывается. Для крупных трансформаторов, от которых получают питание большие группы потребителей, а также в сетях напряжением 110 кВ и выше чаще применяется способ РПН, при котором регулирование происходит без отключения трансформатора от сети, т. е. без перерыва в подаче энергии.

В схемах ПБВ применяют переключатели на 3 ступени и на 5 ступеней напряжения. В первом случае (±1×5%), кроме номинальной, имеются ступени +5% и —5%. Во втором случае (±2×2,5%) дополнительно имеются также ступени +2,5% и —2,5%.

Одним из наиболее простых и широко применяемых в трансформаторах мощностью 100—1000 кВ·А при регулировании ПБВ является переключающее устройство ТПСУ-9-120/10 (рис. 13).

Соответствующие ответвления от обмоток присоединяют снаружи к контактам *3,* по которым внутри цилиндра *10* скользят контактные сегменты *6,* замыкающие в каждом рабочем положении три неподвижных контакта.

Чтобы произвести переключение, необходимо вывернуть стопорный болт *15* и повернуть головку привода на 120°.

В трансформаторах для регулирования ПБВ применяются переключатели различных типов и конструктивных исполнений, на-

пример типа З-50/35, ПТЛ-9-120/35 и другие, принципиально мало отличающиеся от переключателя ТПСУ-9-120/10.

При необходимости регулирования напряжения трансформатора без отключения его от сети (способ РПН) применяют специальные достаточно сложные переключающие устройства. Число ступеней и диапазон регулирования напряжения в схемах РПН больше, чем в схемах ПБВ. Так, например, часто применяют для РПН переключатели на 13 ступеней (±6×1,67%) с диапазоном регулирования напряжения ±10%, а также на 17 ступеней (±8×1,5%) с диапазоном ±12%.

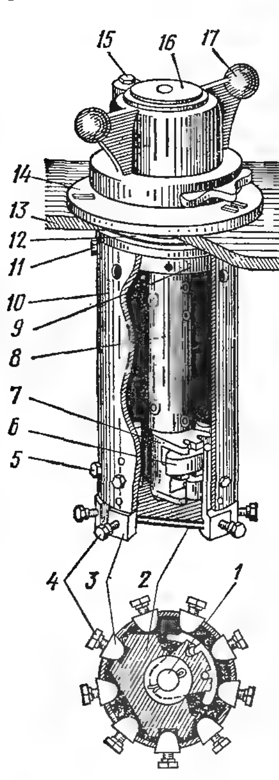


Рис. 13. Трехфазный переключатель ТПСУ-9-120/10:

1 — вал привода, *2* — центрирующая пластина, *3* — неподвижный контакт, *4* — контактный болт, *5* и *11* — болты для крепления цилиндра, *6* — контактный сегмент, *7* — вал, *8* — бумажно-бакелитовая труба, *9* — фланец цилиндра, *10* — бумажно-бакелитовый цилиндр, *12* — резиновое уплотнение, *13* — крышка трансформатора, *14* — фланец колпака, *15* — стопорный болт, *16* — дощечка, *17* — колпак привода

В устройствах РПН основными узлами являются: избиратель ответвлений, предназначенный для выбора нужного ответвления обмотки перед переключением и для длительного пропускания тока; предызбиратель ответвлений, предназначенный для использования контактов избирателя и присоединенных к нему ответвлений обмотки более одного раза при прохождении всего диапазона регулирования; контактор, который служит для отключения тока в цепях переключающего устройства, предварительно подготовленных к этому избирателем; токоограничивающий реактор, предназначенный для включения между работающим и вводимым в работу ответвлениями с целью ограничения тока в переключаемой части обмотки и перевода нагрузки с одного ответвления на другое без перерыва в токе нагрузки трансформатора. В быстродействующих устройствах РПН вместо токоограничивающего реактора (индуктивного сопротивления) применяют активное токоограничивающее сопротивление.

Для приведения в действие всех частей устройства РПН существуют ручной привод (с помощью рукоятки), электропривод с кнопочным управлением и автоматический. Кроме того, в устройство РПН входят различная аппаратура, механизмы, элементы сигнализации, автоматики и др.

Вводы служат для выведения из бака наружу концов обмоток трансформатора и подключения их к электрической сети.

Простейший ввод представляет собой устанавливаемый обычно на крышке трансформатора армированный фарфоровый проходной изолятор с токопроводящим стержнем, проходящим через сквозное отверстие внутри фарфорового элемента. Ввод снабжен

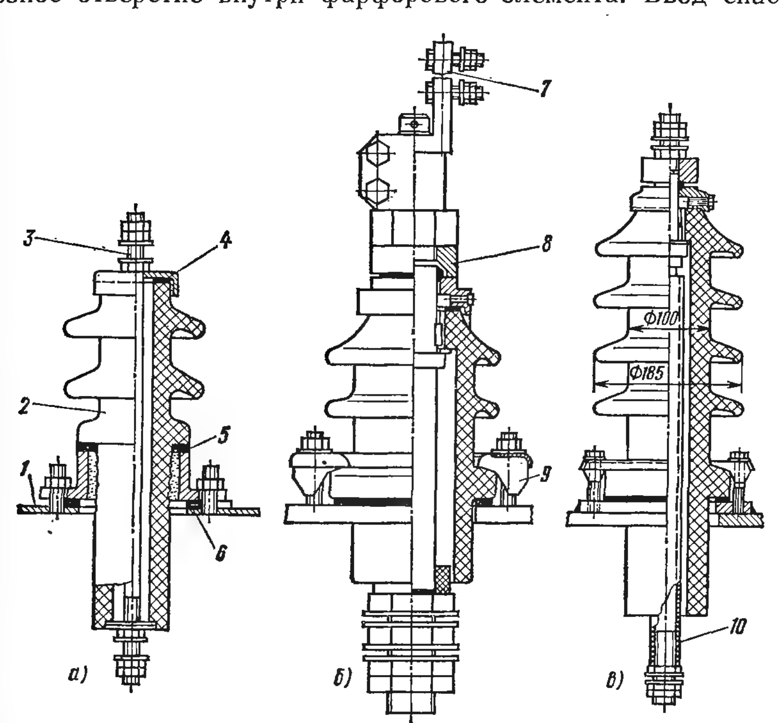


Рис. 14. Вводы:

а — армированный на 6 и 10 кВ, *б* — съемный на 6 и 10 кВ, *в* — съемный на 35 кВ; *1* — крышка бака, *2* — фарфоровый изолятор, *3* — токопроводящий медный стержень, *4* — чугунный колпак, *5* — резиновая шайба, *6* — прокладка, *7* — контактный наконечник, *8* — латунная втулка, *9* — прижимной кулачок, *10* — бумажно-бакелитовая труба

арматурой (фланцем) для крепления его на стенке или крышке бака.

Вводы трансформаторов внутренней установки имеют гладкую поверхность, наружной установки — более развитую поверхность в виде зонтообразных выступов (ребер).

Размеры и внешняя конфигурация вводов зависят от величины (класса) напряжения и рода (закрытая, открытая) установки, а сечение токопроводящего стержня — от силы тока.

В трансформаторах, выпускавшихся ранее, применялись армированные неразборные вводы (рис. 14, *а*), что при необходимости их замены требовало слива части масла из трансформатора. В современных трансформаторах напряжением до 35 кВ включительно устанавливают только съемные (разборные) вводы (рис. 14, *б, в*), главное достоинство которых состоит в том, что

для замены поврежденного фарфорового изолятора нет необходимости в подъеме выемной части трансформатора и отсоединении отводов внутри бака.

В электрических сетях довольно часто используются трехобмоточные трехфазные трансформаторы, имеющие одну первичную и

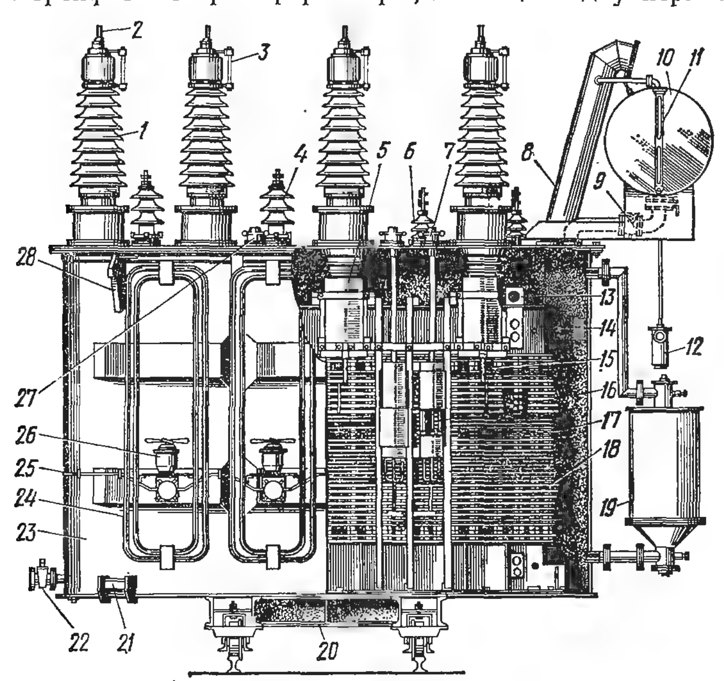


Рис. 15. Силовой трехфазный трехобмоточный трансформатор:

1 — маслонаполненный ввод ВН (110 кВ), *2* — токопроводящий стержень (шпилька), *3* — указатель уровня масла ввода ВН, *4* — ввод СН (35 кВ), *5* — бумажно-бакелитовый цилиндр ввода ВН, *6* — ввод НН (10 кВ), *7* — привод переключателя регулировочных отводов обмотки ВН, *8* — предохранительная труба, *9* — газовое реле, *10* — расширитель (консерватор), *11* — указатель уровня масла в расширителе, *12* — воздухоосушитель, *13* — проушина для подъема активной части, *14* — ярмовая балка, *15* — линейный отвод от обмотки ВН, *16* — переключатель регулировочных отводов обмотки ВН, *17* — обмотка ВН, *18* — экранирующие витки обмотки ВН, *19* — термосифонный фильтр, *20* — тележка с катками, *21* — площадка для установки домкрата, *22* — маслоспускной кран, *23* — бак трансформатора, *24* — радиатор (трубчатый охладитель), *25* — электропроводка питания электродвигателя дутья, *26* — электродвигатель дутья (вентилятора), *27* — привод переключателя обмотки СН, *28* — крюк для подъема трансформатора

две вторичные трехфазные обмотки на разные напряжения. На рис. 15 показано устройство мощного трехобмоточного трехфазного понижающего трансформатора, имеющего первичную обмотку, рассчитанную на напряжение 110 кВ (обмотка ВН), и две вторичные обмотки — обмотку промежуточного (среднего) напряжения СН, рассчитанную на 35 кВ, и обмотку низшего напряжения НН — на напряжение 10 кВ. Показанный на рис. 15 трансформатор имеет маслонаполненные вводы обмотки ВН и оборудован вентиляторами обдува, делающими более интенсивным его охлаждение.

§ 4. Автотрансформаторы

Автотрансформатором называется трансформатор, у которого первичная и вторичная обмотки связаны между собой не только общим магнитным полем, но и гальванически (т. е. имеют электрический контакт), причем одна из обмоток является частью другой.

Автотрансформатор может быть повышающим или понижающим. Принципиальная схема однофазного понижающего автотрансформатора показана на рис. 16. Как видно из рисунка, в

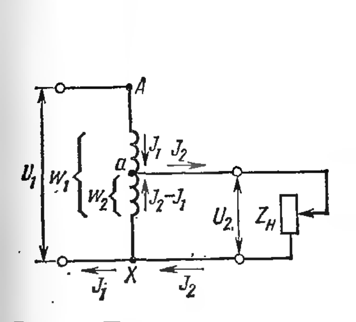


Рис. 16. Принципиальная схема однофазного понижающего автотрансформатора с включенной нагрузкой

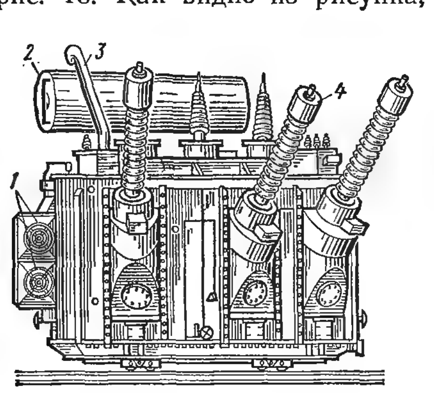


Рис. 17. Трехфазный автотрансформатор: *1* — охладители с вентиляторами, *2* — расширитель, *3* — предохранительная труба, *4* — ввод ВН

части обмотки, являющейся общей для первичной и вторичной сторон, при работе автотрансформатора проходит ток, равный разности токов $I_2—I_1$. Это обстоятельство позволяет выполнять общую для обеих сторон часть обмотки из провода меньшего сечения, чем требуется у обычного трансформатора.

Таким образом, благодаря гальванической связи между первичной и вторичной сторонами автотрансформатора передача энергии из первичной цепи во вторичную происходит как через магнитное поле, так и непосредственно электрическим путем. Поэтому автотрансформатор имеет ряд таких преимуществ перед трансформатором, как меньшие масса, габариты, расход электротехнических материалов (стали и меди), а также более высокий кпд. Следует отметить, что по сравнению с обычным трансформатором применение автотрансформатора тем выгоднее, чем меньше коэффициент трансформации отличается от единицы. Поэтому автотрансформаторы широко применяют, когда требуется изменять напряжение в небольших пределах, например при регулировании напряжения.

Мощные высоковольтные трехфазные (рис. 17) и однофазные автотрансформаторы, работающие в трехфазных группах, исполь-

зуются также для связи линий электропередачи разных классов напряжений.

По своей конструкции автотрансформаторы мало чем отличаются от обычных трансформаторов.

§ 5. Измерительные трансформаторы

К измерительным относятся трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, которые используются при измерении больших токов и высоких напряжений и позволяют применять при этом электроизмерительные приборы обычной конструкции. Измерительные трансформаторы служат также для разделения высоковольтных силовых цепей в электроустановках и низковольтных измерительных цепей, а также для питания релейной и другой аппаратуры автоматического управления и защиты.

Трансформатор тока применяется обычно для преобразования переменного тока большой силы в сравнительно небольшой ток (до 5 А), который удобно измерять стандартными измерительными приборами. Первичная обмотка трансформатора тока включается последовательно в цепь измеряемого тока, а вторичная обмотка замыкается непосредственно на амперметр, токовую обмотку ваттметра, счетчика электроэнергии или реле. Поскольку эти приборы имеют очень малое сопротивление, то трансформаторы тока рассчитаны на режим работы, близкий к короткому замыканию.

У трансформаторов тока, включаемых в линию с достаточно большими токами, число витков первичной обмотки невелико. Для очень больших токов первичная обмотка выполняется в виде шины, продетой в окно стального сердечника, на котором намотаны витки вторичной обмотки. Вторичные обмотки трансформаторов тока обычно рассчитаны на ток 5А независимо от того, на какой ток рассчитана первичная обмотка.

Конструктивно трансформатор состоит из магнитопровода, на котором расположены первичная и вторичная обмотки. Отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки приблизительно равно отношению первичного тока ко вторичному и называется *коэффициентом трансформации* трансформатора тока.

Трансформатор тока характеризуется номинальным током, на который рассчитана его первичная обмотка, напряжением, на которое рассчитана его изоляция, классом точности и конструктивным исполнением. Трансформаторы тока на напряжение 6—10 кВ изготовляют опорными и проходными, с одной и двумя вторичными обмотками, классов точности 0,2; 0,5; 1 и 3. Класс точности указывает предельную погрешность (в процентах номинального тока), вносимую трансформатором тока в результаты измерений.

Трансформаторы тока класса точности 0,2, имеющие минимальную погрешность, используют для лабораторных измерений, 0,5 — для питания счетчиков, классов точности 1 и 3 — для пита-

ния токовых обмоток реле и приборов технических измерений. Для безопасной эксплуатации вторичные обмотки должны быть заземлены и не должны быть разомкнуты.

Проходной трансформатор тока ТПФМ-10 на 10 кВ показан на рис. 18, *а*. Он состоит из многовитковой первичной обмотки *1*, расположенной во внутренней полости проходных изоляторов *2*, и вторичной обмотки *3*. Вторичная обмотка располагается вокруг

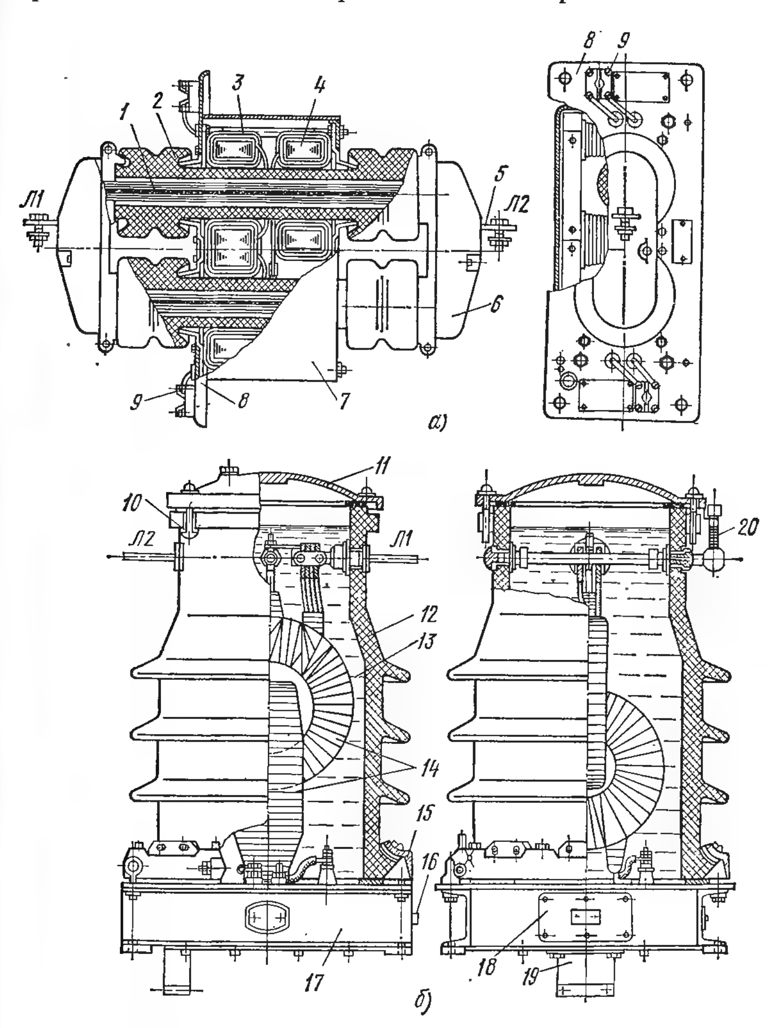


Рис. 18. Трансформаторы тока:

а — проходной ТПФМ-10 на 10 кВ, *б* — опорный ТФН-35М на 35 кВ; *1* — первичная обмотка, *2* — фарфоровый изолятор, *3* — вторичная обмотка, *4* — сердечник вторичной обмотки, *5* — контактный угольник, *6* — крышка, *7* — кожух, *8* — верхний фланец, *9* — зажимы выводов вторичной обмотки, *10* — якорсобразный болт, *11* — крышка-колпак, *12* — ребристая фарфоровая покрышка, *13* — изоляционное масло, *14* — обмотки, *15* — полухомут, *16* — маслоспускатель, *17* — цоколь, *18* — коробка вторичных выводов, *19* — кабельная муфта, *20* — маслоуказатель

изоляторов и состоит из нескольких катушек, надетых на стержни сердечников *4*. Первичная обмотка выполняется изолированным круглым проводом или голой медной шинкой; слои шинки изолированы друг от друга полосами электрокартона.

Торцевые части первичной обмотки закрыты металлическими крышками *6*. Вторичная обмотка *3* закрыта стальным кожухом *7*, ее концы выведены на лицевую сторону фланца *8* и присоединены к зажимам *9*.

Шины РУ присоединяют к контактам *5*, а заземляющую шину — к болту заземления, расположенному на фланце трансформатора тока.

Опорный трансформатор тока на 35 кВ показан на рис. 18, *б*. Он состоит из ребристой фарфоровой покрышки *12*, внутри которой расположены двухсердечниковые обмотки *14*. Первичные и вторичные обмотки сцеплены друг с другом подобно звеньям цепи и внешне напоминают цифру 8, поэтому трансформаторы тока такого типа называют «восьмерочными».

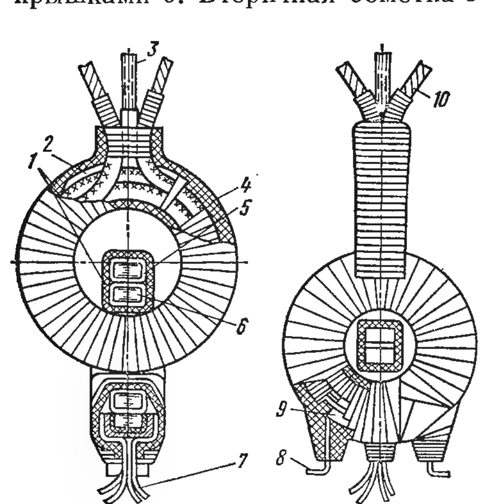


Рис. 19. Обмотки трансформатора тока ТФН-35:

1 — изоляция, *2* — пластина обмоткодержателя, *3* — стержень обмоткодержателя, *4* — первичная обмотка, *5* — вторичная обмотка, *6* — кольцевой (ленточный) сердечник, *7* — выводные концы вторичных обмоток, *8* — лапки (основания) металлической подставки, *9* — металлическая подставка, *10* — выводные концы первичной обмотки

Двухсердечниковые обмотки трансформатора тока (рис. 19) состоят из двух ленточных (кольцевых) сердечников *6*, на которых намотана вторичная обмотка в виде многовитковой спирали. Вторичные обмотки внутренних сердечников намотаны по всей их поверхности, а вторичные обмотки наружных сердечников занимают только часть (65—70%) окружности сердечника, оставляя низ его свободным для опоры на металлическую подставку *9*. Подставка имеет две лапки *8*, с помощью которых вместе с обмоткой крепится к плите.

Первичная обмотка *4* представляет собой многовитковую петлю, охватывающую все сердечники. Она снабжена обмоткодержателем, состоящим из стальной пластины *2*, выгнутой по форме обмотки, и приваренного к ней стального стержня *3*. Верхний конец стержня имеет резьбу, с помощью которой стержень крепится гайкой к перемычке, расположенной в верхней части покрышки.

Верхняя изоляция выполнена кабельной бумагой, наложенной на обмотки вполнахлеста.

Трансформатор напряжения служит для преобразования высокого напряжения электрического тока в напряжение, удобное для измерения стандартными электроизмерительными приборами (обычно 100 В).

Трансформаторы напряжения выполняют однофазными и трехфазными, двухобмоточными и трехобмоточными, маслонаполненными и сухими.

Конструктивно трансформаторы напряжения весьма схожи с силовыми трансформаторами, описанными выше. Обычно измерительные трансформаторы напряжения не имеют расширителей, газовых реле, выхлопных труб, переключателей. Бак трансформатора напряжения, как правило, гладкий, не имеет радиаторов.

§ 6. Конструкции обмоток силовых трансформаторов и автотрансформаторов

В силовых трансформаторах применяются однослойные, двухслойные, многослойные и непрерывные обмотки.

Однослойной цилиндрической обмоткой называется обмотка, намотанная в один слой по винтовой линии и состоящая из одного или нескольких параллельных проводов (обычно марок ПБ или АПБ прямоугольного сечения). У однослойной обмотки (см. рис. 10, *а*) начало и конец находятся на противоположных торцах. Витки идут по наклонной линии, поэтому для придания торцам обмоток горизонтальной опорной поверхности к крайним виткам прикрепляют киперной лентой выравнивающие разрезные кольца. Кольца вырезают из бумажно-бакелитового цилиндра или свертывают в кольцо клин, состоящий из нескольких слоев электрокартона, скрепленных тафтяной лентой.

Выравнивающее кольцо прочно крепят к обмотке тафтяной лентой, пропускаемой между крайними витками обмотки.

Для придания обмотке большей механической прочности поверх крайних витков и выравнивающих колец накладывают бандажи, состоящие из нескольких слоев тафтяной или киперной ленты, наматываемых вполуперекрышку.

Изоляцию крайних витков обмотки усиливают путем установки коробочек *2* из электрокартона толщиной 0,5—0,7 мм. Перед установкой коробочке придают П-образную форму, а затем прикрепляют тафтяной лентой к крайним виткам обмотки.

Двухслойная обмотка (см. рис. 10, *б*) наматывается так же, как однослойная, с тем различием, что у нее витки, состоящие из одного или нескольких проводов, намотаны в два слоя.

У двухслойной обмотки витки переходят из слоя в слой в нижней части обмотки, а между ее внутренним и наружным слоями создаются масляные каналы, образованные с помощью вертикально установленных буковых планок и электрокартонных полос. Наличие таких каналов улучшает условия отвода теплоты от обмотки.

Многослойную цилиндрическую обмотку (см. рис. 10, *в*) нама-

тывают круглым проводом на бумажно-бакелитовый цилиндр. Между первым слоем, намотанным на цилиндр, и всеми последующими слоями накладывают бумажные цилиндры, состоящие из нескольких слоев кабельной бумаги и служащие в качестве межслоевой изоляции.

Многослойная обмотка, показанная на рис. 10, *в*, выполнена с ответвлениями (петлями) 7, служащими для регулирования напряжения. Регулировочные отводы образуют тем же обмоточным проводом, что и витки обмотки, и изолируют их кабельной бумагой. При большом числе слоев обмотку выполняют в виде двух катушек, между которыми (при помощи планок) образуют каналы для лучшего отвода теплоты от обмотки.

Многослойная обмотка не обладает достаточной механической прочностью по отношению к осевым усилиям. Чтобы придать обмотке бо́льшую механическую прочность, ее бандажируют киперной или тафтяной лентой, а затем пропитывают глифталевым лаком и запекают при температуре 80—100°С.

В силовых трансформаторах мощностью 1000 кВ·А и выше наиболее широко применяют непрерывные обмотки, состоящие из последовательно соединенных между собой плоских катушек одинакового радиального размера.

Непрерывную обмотку (см. рис. 10, *г*) наматывают плоскими проводами и без разрывов и паек, откуда и происходит название этого типа обмотки. Переход (транспозиция) проводов обмотки из катушки в катушку осуществляется в пролетах между прокладками. Для этого провод в месте перехода изгибают в двух местах, участок перехода дополнительно изолируют электрокартонной коробочкой, закрепляемой тафтяной лентой.

Чтобы улучшить условия охлаждения, обмотку наматывают на рейки, уложенные на бумажно-бакелитовом цилиндре, при этом пространства между рейками образуют вертикальные охлаждающие каналы. Помимо вертикальных каналов в непрерывных обмотках создают и горизонтальные каналы с помощью пакетов из листов электрокартона, нанизываемых на проваренные в масле планки из бука или дуба.

Нормальная продолжительная работа трансформатора обусловлена прежде всего сохранением электрической прочности его изоляции. Электрическая прочность изоляции — одна из основных характеристик трансформатора, от которой зависит его надежность в эксплуатации.

Изоляция трансформатора подразделяется на внешнюю и внутреннюю.

Внешней изоляцией называют воздушную изоляцию вне бака трансформатора, например между вводами разных обмоток, между вводами и заземленными частями трансформатора.

Внутренней изоляцией называют изоляцию частей трансформатора, расположенных внутри бака, большей частью погруженных в трансформаторное масло. Внутренняя изоляция в свою очередь разделяется на главную и продольную.

Главной изоляцией принято называть изоляцию каждой из обмоток от заземленных частей и от других обмоток, продольной — изоляцию между различными точками данной обмотки, т. е. между витками, слоями, катушками, элементами емкостной защиты. Аналогично подразделяется изоляция отводов и переключателей.

Классификация изоляции трансформатора показана на рис. 20.

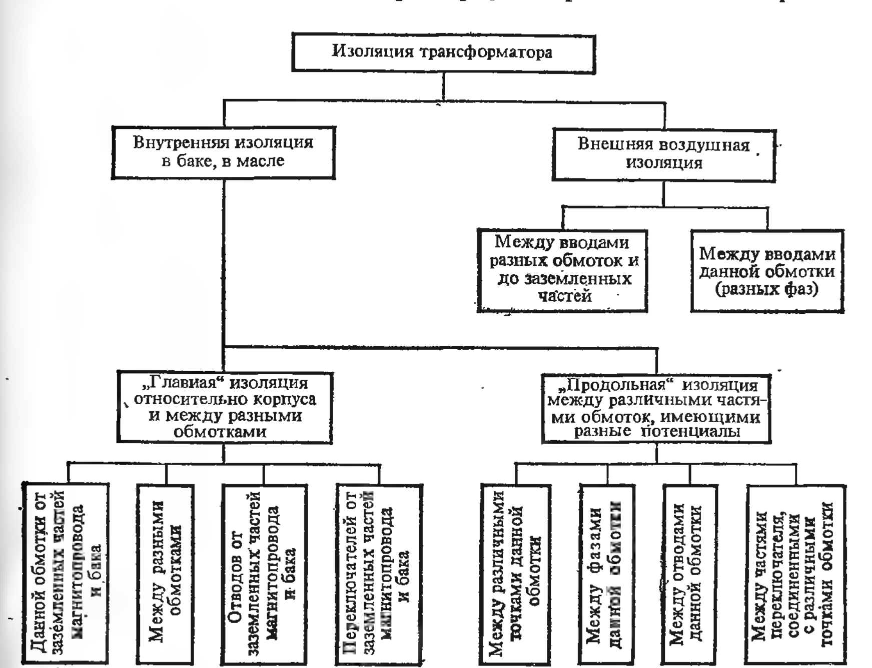


Рис. 20. Классификация изоляции силового масляного трансформатора

Изоляция трансформатора должна длительно выдерживать без повреждений электрические, тепловые, механические и физико-химические воздействия, которым она подвергается в эксплуатации. Электрический расчет изоляции производится так, чтобы она могла выдержать контрольные и типовые испытания, предусмотренные нормами.

Контрольные вопросы

1. Как устроен трехфазный силовой трансформатор?
2. Назовите приборы, устанавливаемые на крышке силового трансформатора, и укажите назначение каждого из них.
3. Чем отличаются концентрические обмотки от чередующихся?
4. Для чего служит переключатель трансформатора?
5. В чем отличие автотрансформатора от трансформатора?
6. Каково основное назначение измерительных трансформаторов?

ГЛАВА II

УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 7. Назначение и классификация электрических машин

Электрические машины по назначению разделяются на генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую, электродвигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую, а также специальные машины, чаще всего преобразующие электрическую энергию одного вида в электрическую же энергию другого вида. К таким специальным машинам относятся преобразователи переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты или переменного тока в постоянный; синхронные компенсаторы, используемые для компенсации реактивной мощности в электрических сетях; электромашинные усилители, применяемые для усиления мощности электрических сигналов, и т. д.

По устройству электрические машины могут быть коллекторными и бесколлекторными. Коллекторные машины используются чаще всего для работы на постоянном токе как в качестве генераторов, так и в качестве электродвигателей. Реже применяются коллекторные машины на переменном токе, главным образом как электродвигатели сравнительно небольшой мощности. Бесколлекторные электрические машины работают почти исключительно на переменном токе. По принципу действия их разделяют на асинхронные, используемые в основном как электродвигатели, и синхронные, применяемые в качестве как генераторов, так и электродвигателей.

Электрические машины широко применяются во всех отраслях народного хозяйства, где существуют самые разнообразные условия работы и предъявляются различные требования. В связи с этим разработаны и выпускаются промышленностью электрические машины множества конструктивных исполнений: с горизонтальным и вертикальным расположением вала, с креплением на лапах или фланце, с различными способами охлаждения, например обдуваемые воздухом только снаружи или продуваемые также внутри, с разной степенью защиты от влияния внешней среды — открытого и защищенного исполнений, брызгозащищенные, водозащищенные, взрывозащищенные, герметические и т. д.

На специальной табличке, которая крепится к электрической машине, указывают ее номинальные данные, т. е. основные показатели (мощность, напряжение, ток, частоту вращения и др.), характеризующие режим работы (номинальный режим), для которого предназначена данная электрическая машина заводом-изготовителем. Термин «номинальный» применяется также к величинам, не указанным на щитке машины, но относящимся к номинальному режиму (например, номинальный вращающий момент, номинальное скольжение и др.).

Номинальная мощность является важнейшей величиной, характеризующей электрическую машину. Для электродвигателя под этим, как правило, понимают механическую мощность, развиваемую на валу при номинальном режиме работы, для генератора — электрическую мощность, которую машина способна отдавать во внешнюю цепь.

По номинальному напряжению электрические машины обычно условно разделяют на машины низкого напряжения — менее 100 В, машины среднего напряжения — от 100 до 1000 В и машины высокого напряжения — свыше 1000 В.

С начала 50-х годов заводы отечественной электротехнической промышленности приступили к выпуску электрических машин в виде единых общесоюзных серий. Машины одной и той же общесоюзной серии, независимо от того, какими заводами они выпускаются, объединены общностью конструктивных решений, а также максимальной унификацией узлов и деталей. Номинальные мощности этих машин соответствуют стандартному ряду мощностей, а важнейшие параметры (напряжение, частота вращения, установочные размеры, энергетические показатели) должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов.

Унификация изделий позволила резко повысить производительность труда на электромашиностроительных заводах, снизить себестоимость изготовления и улучшить качество выпускаемых электрических машин, упростить и удешевить их монтаж, эксплуатацию и ремонт.

В электроремонтных мастерских промышленных предприятий в основном приходится ремонтировать электрические машины мощностью от 1 до 100 кВт напряжением до 1000 В. Поэтому ремонту обмоток именно таких машин и уделено основное внимание в настоящей книге.

§ 8. Асинхронные машины

Самыми распространенными машинами переменного тока в настоящее время являются асинхронные электродвигатели. Благодаря простоте устройства, высокой надежности в работе, удовлетворительным рабочим характеристикам и сравнительно невысокой стоимости эти машины широко применяются во всех отраслях народного хозяйства — в промышленности, сельскохозяйственном производстве, в строительстве, на транспорте. Электромашиностроительные заводы страны выпускают ежегодно миллионы асинхронных электродвигателей разной мощности и различных конструктивных исполнений.

Устройство наиболее часто используемого трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором схематически показано на рис. 21. Неподвижная часть машины — статор (рис. 22, *а*) — состоит из сердечника *1*, обмотки *2* и корпуса (станины) *3*. Сердечник статора (рис. 22, *б*), являющийся частью магнитопровода машины, имеет форму полого цилиндра с равномерно расположенными на внутренней поверхности пазами осевого на-

правления. Он представляет собой пакет, набранный и спрессованный из отдельных тонких листов электротехнической стали (толщиной 0,5 или 0,35 мм), отштампованных в виде колец с равномерно расположенными вдоль внутренней окружности выступами и впадинами, которые при сборке образуют пазы (рис. 22, *в*). Листы

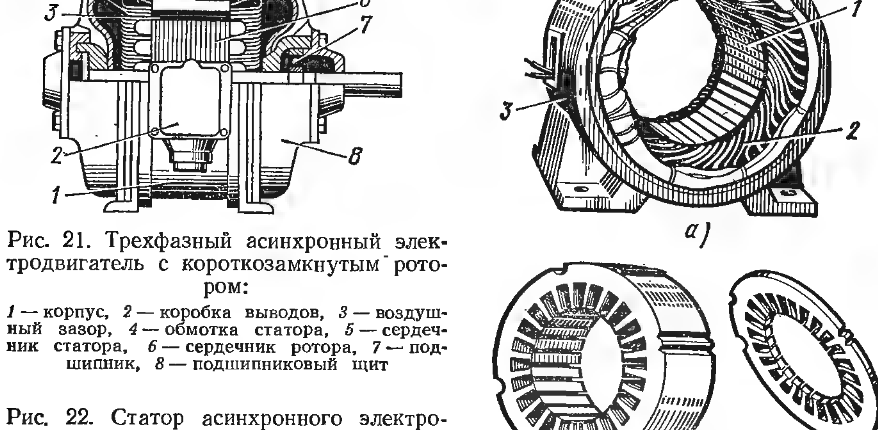


Рис. 21. Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором:

1 — корпус, *2* — коробка выводов, *3* — воздушный зазор, *4* — обмотка статора, *5* — сердечник статора, *6* — сердечник ротора, *7* — подшипник, *8* — подшипниковый щит

Рис. 22. Статор асинхронного электродвигателя:

а — статора в сборе, *б* — сердечник статора, *в* — лист сердечника; *1* — сердечник, *2* — обмотка, *3* — корпус (станина)

до сборки в пакет с обеих сторон покрывают изоляционной пленкой для уменьшения вихревых токов, возникающих в сердечнике при работе машины, и снижения потерь энергии в ней.

В пазах сердечника размещают трехфазную обмотку, выполненную из изолированного медного (реже алюминиевого) провода.

Сердечник статора с обмоткой расположен (обычно запрессован) внутри корпуса, который отливают из чугуна или алюминиевого сплава. К корпусу статора крепятся два литых подшипниковых щита со сквозными центральными отверстиями для подшипников, в которых вращается вал ротора.

Концы обмотки статора присоединены к зажимам, расположенным в коробке выводов, укрепленной на корпусе двигателя (рис. 23, *а*). Обычно выводят все шесть концов трехфазной статорной обмотки, так как это позволяет использовать двигатель при разных напряжениях сети, отличающихся в $\sqrt{3}$ раз (например, 380 и 220 В). Более высокому напряжению сети в этом случае соответствует соединение обмоток звездой, более низкому — треугольником (рис. 23, *б*). Для упрощения таких переключений выводы обмотки статора в коробке соответствующим образом маркируются и располагаются в определенном порядке.

Вращающаяся часть машины — ротор (рис. 24, *а*) — состоит из сердечника, обмотки и вала. Сердечники статора и ротора разделены небольшим (обычно 0,2—0,4 мм) воздушным зазором.

Сердечник ротора *1*, являющийся частью магнитопровода, представляет собой спрессованный из отдельных тонких листов электротехнической стали пакет, имеющий форму цилиндра с продольными пазами у наружной поверхности и центральным отверстием для вала.

У двигателей с короткозамкнутым ротором роторная обмотка представляет собой вставленные в пазы сердечника неизолированные медные или алюминиевые стержни *3*, торцы которых с обеих сторон соединены короткозамыкающими кольцами *2*, выполненными обычно из того же материала, что и стержни. Такую короткозамкнутую обмотку называют также «беличьей клеткой» (рис. 24, *б*). В двигателях мощностью до 100 кВт она чаще всего выполняется путем заливки пазов расплавленным алюминием под давлением (рис. 24, *в*). Одновременно отливают стержни *3*, короткозамыкающие кольца *2* и вентиляционные лопатки *5*. Пазы сердечника в этом случае обычно делают закрытыми, круглой или овальной формы.

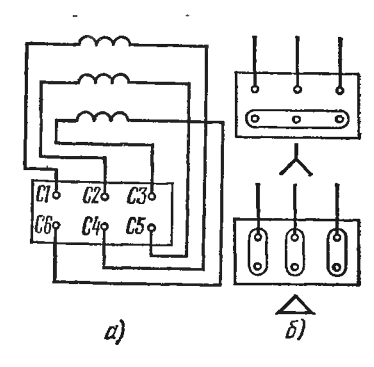


Рис. 23. Присоединение концов обмотки к зажимам (*а*) и соединение зажимов коробки при включении фазных обмоток звездой и треугольником (*б*)

У показанного на рис. 25 трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором статор устроен так же, как и у двигателя с короткозамкнутым ротором, в то время как ротор имеет существенные конструктивные отличия. Сердечник *1* ротора представляет собой пакет цилиндрической формы, набранный и спрессованный из отдельных тонких штампованных листов электротехнической стали и насаженный на вал *3*. На наружной поверхности сердечника имеются пазы, в которые укладывается трехфазная

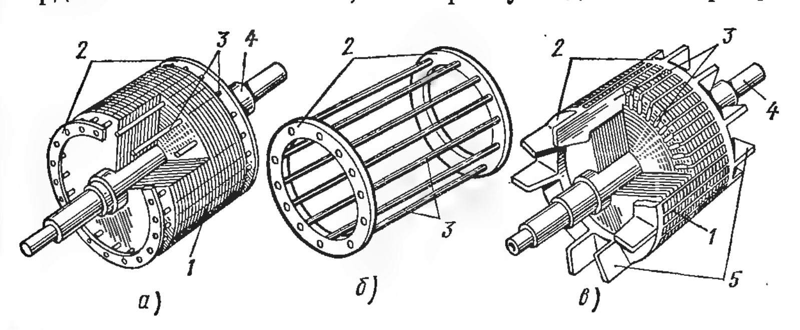


Рис. 24. Короткозамкнутый ротор асинхронного электродвигателя:
а — с вставленными в пазы стержнями, *б* — «беличья клетка», *в* — с обмоткой, выполненной заливкой алюминиевого сплава; *1* — сердечник ротора, *2* — короткозамыкающие кольца обмотки, *3* — стержни обмотки, *4* — вал, *5* — вентиляционные лопатки

обмотка *2* из изолированного медного провода. Обмотка фазного ротора, выполняемая по таким же схемам, как и обмотка статора, соединяется, как правило, в звезду, а три ее свободных конца изолированными проводами, проходящими обычно через просверленное внутри вала отверстие (см. рис. 27, *б*), выводятся к укрепленным на валу трем (обычно медным или латунным) контактным кольцам *12*, электрически изолированным между собой и от вала. С вращающимися при работе двигателя контактными кольцами соприкасаются неподвижные щетки, установленные в щеткодержателях *11*, которые закреплены на подшипниковом щите *9*. К коробке выводов *8*, расположенной на корпусе *5* двигателя, подведены шесть концов обмотки статора *6*. Кроме того, отдельно выведены три конца роторной обмотки *2* (через контактные кольца и щетки). В цепь обмотки ротора таким образом можно включить пусковой или регулировочный реостат, дроссели и другую аппаратуру.

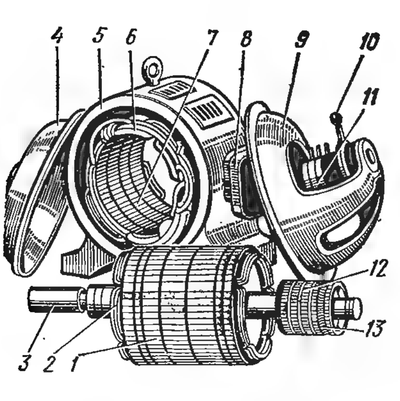


Рис. 25. Асинхронный электродвигатель с фазным ротором:

1 — сердечник ротора, *2* — обмотка ротора, *3* — вал, *4* — подшипниковый щит со стороны привода, *5* — корпус статора, *6* — обмотка статора, *7* — сердечник статора, *8* — коробка выводов, *9* — подшипниковый щит со стороны контактных колец, *10* — рычаг короткозамыкающего приспособления, *11* — щеткодержатели, *12* — контактные кольца, *13* — смещающееся вдоль вала кольцо короткозамыкающего приспособления

В некоторых выпускавшихся ранее конструкциях асинхронных электродвигателей с фазным ротором имеется короткозамыкающее устройство, состоящее из рычага *10* с вилкой и подвижного кольца *13*, с помощью которых после окончания пуска двигателя и выведения из цепи роторной обмотки пускового реостата все три контактных кольца ротора на ходу электрически соединяются между собой, а щетки поднимаются.

Асинхронные электродвигатели с фазным ротором несколько сложнее по устройству, дороже и менее надежны, чем двигатели с короткозамкнутым ротором, поэтому их применяют значительно реже — в приводах с тяжелыми условиями пуска или с повышенными требованиями к его плавности, при необходимости регулирования частоты вращения и т. п.

Переход отечественной электротехнической промышленности на выпуск единых общесоюзных серий электрических машин был начат именно с асинхронных электродвигателей, как машин самого широкого, массового применения.

Первая единая серия асинхронных электродвигателей общепромышленного применения была внедрена в производство в начале 50-х годов. Электродвигатели этой серии получили обозначения А (брызгозащищенное исполнение) и АО (закрытое обдуваемое ис-

полнение). Серия охватывала двигатели мощностью от 0,6 до 100 кВт на частоты вращения 3000, 1500, 1000 и 750 об/мин, причем шкала мощностей состояла из 14 ступеней (0,6—1,0—1,7—2,8—4,5—7,0—10—14—20—28—40—55—75 и 100 кВт). В состав серии вошли машины семи габаритов (габарит характеризует внешний диаметр сердечника статора) — с 3-го по 9-й, причем по две длины в каждом габарите, т. е. всего 14 типоразмеров.

Кроме электродвигателей основного исполнения в состав первой единой серии вошел ряд их электрических модификаций и специальных исполнений: с повышенным пусковым моментом (обозначаются АП и АОП), многоскоростные (в обозначении указываются соответствующие числа полюсов, например 8/6/4), с фазным ротором (АК). В связи с необходимостью экономии меди выпущены также электродвигатели с обмотками статора из алюминиевого обмоточного провода с эмалевой изоляцией (в конце обозначения типа таких двигателей после указания числа полюсов ставится буква А).

Корпуса электродвигателей А и АО выполнены литыми из серого чугуна, а двигателей АОЛ (3-й и 4-й габариты) — из алюминиевого сплава. У брызгозащищенных двигателей (А) корпус имеет два боковых отверстия и одно отверстие внизу для выхода охлаждающего воздуха (засасывается воздух через отверстия в подшипниковых щитах). Внутри корпуса сделаны четыре продольных ребра, на которых крепится сердечник статора с обмоткой. Корпуса двигателей закрытого обдуваемого исполнения (АО) имеют снаружи продольные ребра, увеличивающие поверхность охлаждения машины. Внутренняя поверхность корпусов двигателей этих типов механически обработана, но имеет продольные, получаемые при литье, каналы, куда входят скобы, скрепляющие сердечник статора. Двигатели АО 7—9-го габаритов имеют также каналы для внутренней циркуляции воздуха.

Электродвигатели первой единой серии защищенного исполнения (рис. 26, *а*) всех габаритов имеют на роторе с обеих сторон вентиляционные лопатки *3*, расположенные на короткозамыкающих кольцах обмотки и отливаемые заодно с нею.

У электродвигателей закрытого обдуваемого исполнения (рис. 26, *б*) на конец вала, противоположный рабочему, насажен внешний центробежный вентилятор *7*, закрытый штампованным из стального листа кожухом *8*, направляющим охлаждающий воздух на наружные ребра *5* корпуса. Кроме того, у таких двигателей 7—9-го габаритов имеется дополнительный внутренний вентилятор, перемешивающий воздух внутри машины и способствующий более интенсивному отводу теплоты.

Сердечники статоров электродвигателей первой единой серии собраны из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. При изготовлении сердечников листы набирались на оправку, спрессовывались, а пакет скреплялся скобами, которые приваривались к его наружной поверхности электросваркой (пакеты статоров двигателей АОЛ облиты алюминиевым сплавом под

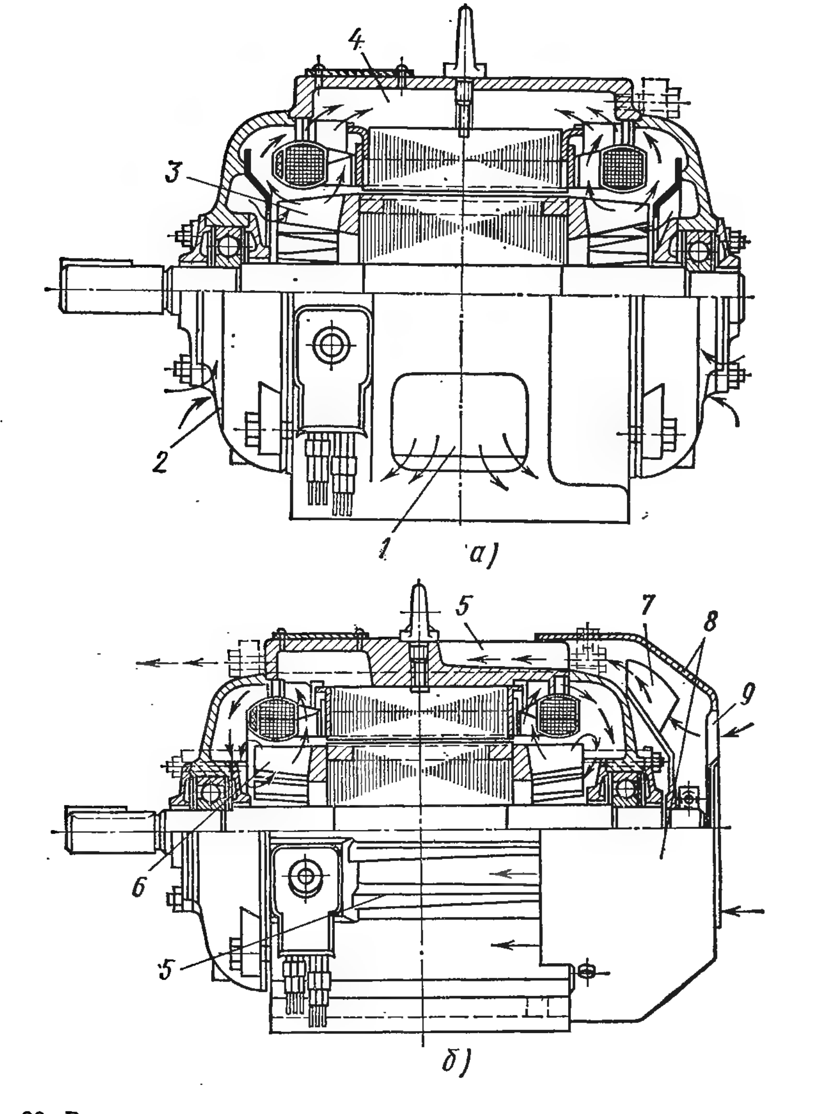


Рис. 26. Разрез и схема движения охлаждающего воздуха асинхронных электродвигателей первой единой серии (4-й габарит):

а — двигатель защищенного исполнения (А), *б* — двигатель закрытого обдуваемого исполнения (АО); *1* — отверстие в корпусе для выхода охлаждающего воздуха, *2* — отверстия в подшипниковых щитах для входа охлаждающего воздуха, *3* — лопатки, *4* — продольное ребро корпуса для крепления сердечника статора, *5* — наружные охлаждающие ребра корпуса, *6* — лопатки вентиляторов, перемешивающих воздух внутри машины, *7* — вентилятор наружного обдува, *8* — кожух вентилятора наружного обдува, *9* — отверстие в кожухе для засасывания охлаждающего воздуха

давлением, без применения скоб). Чтобы скрепить пакет и предотвратить распушение зубцов, на торцах сердечника статора установлены утолщенные крайние листы и нажимные шайбы (кольца), скрепленные теми же скобами. В крайних торцевых и двух-трех соседних листах двигателей 6—8-го габаритов пазы имеют несколько бóльшие размеры, а зубцы выполнены без коронок. Для получения должной жесткости несколько таких листов сварены между собой точечной сваркой.

Обмотки статоров электродвигателей первой единой серии 3—5-го габаритов — однослойные концентрические, за исключением двухполюсных электродвигателей, имеющих двухслойную обмотку. У всех двигателей этой серии 6—9-го габаритов обмотки двухслойные.

Пакеты короткозамкнутых роторов двигателей 3—5-го габаритов напрессованы на накатанную (рифленую) поверхность вала без шпонки. У двигателей с фазным ротором (АК) листы сердечника ротора набраны непосредственно на вал со шпонкой, спрессованы между собой и удерживаются двумя нажимными шайбами, которые закреплены на валу пружинными кольцами, входящими в канавки вала. По торцам сердечника установлены утолщенные крайние листы, что предотвращает распушение зубцов.

Медные контактные кольца двигателей с фазным ротором закрыты съемным кожухом, имеющим в торце отверстие для входа, а внизу — отверстие для выхода охлаждающего воздуха. Сдвоенные щеткодержатели штампованно-клепаной конструкции расположены под кожухом и крепятся на изолированном стержне.

Двигатели защищенного исполнения (А) в отличие от закрытых обдуваемых (АО) в коробке выводов не имеют колодки зажимов и выводы статорной обмотки выполнены у них в виде свободных проводов с наконечниками. У электродвигателей на напряжение 127/220 и 220/380 В выведены все шесть концов обмотки статора, а у двигателей на 500 В обмотка статора соединена в звезду и выведены лишь три свободных конца.

Вторая единая серия асинхронных электродвигателей, заменившая первую, освоена промышленностью в 1961—1965 гг. Электродвигатели этой серии, получившие обозначения А2 (брызгозащищенное исполнение) и АО2 (закрытое обдуваемое исполнение), отличаются от двигателей первой единой серии более высокими кпд и cosφ, меньшими размерами и массой при той же мощности, более полной унификацией узлов и деталей. Улучшение энергетических показателей и уменьшение массы получено главным образом за счет применения для изоляции обмоток более теплостойких и тонких материалов.

Вторая единая серия асинхронных электродвигателей общепромышленного применения охватывает девять габаритов машин — с 1-го по 9-й. В каждом габарите — по две длины. Таким образом, серия содержит 18 типоразмеров двигателей. В диапазоне от 0,6 до 100 кВт шкала мощностей состоит из 18 ступеней: от 0,6—0,8—1,1—1,5—2,2—3,0—4,0—5,5—7,5—10—13—17—22 — 30—40—55 —

75—100 кВт. Это на четыре ступени больше, чем у первой единой серии, и позволяет полнее удовлетворять требования многих отраслей народного хозяйства. Расширена и шкала синхронной частоты вращения, которая имеет не четыре, а пять ступеней: 3000, 1500, 1000, 750 и 600 об/мин.

Вторая единая серия имеет семь электрических модификаций: с повышенным пусковым моментом (АОП2); с повышенным скольжением (АОС2 и АОЛС2); с фазным ротором (АОК2 и АК2); многоскоростные; с повышенными энергетическими показателями для текстильной промышленности (АОТ2); с алюминиевой обмоткой статора; для частоты 60 Гц (после полного обозначения типа добавляется число 60).

Кроме основных исполнений А2 и АО2 предусмотрено еще шесть специализированных: тропическое (Т), химостойкое (Х), влагоморозостойкое (В), малошумное (Ш), для станков нормальной (С1) и повышенной (С2) точности. Указанные в скобках буквы и цифры добавляются после полного обозначения типа.

Электродвигатели второй единой серии А2 и АО2 могут иметь три конструктивные формы исполнения: на лапах, с двумя подшипниковыми щитами (1М1); на лапах, с фланцем на подшипниковом щите со стороны рабочего конца вала (1М2); без лап, с фланцем на подшипниковом щите со стороны рабочего конца вала (1М3).

Электродвигатели 1—5-го габаритов имеют только закрытое обдуваемое исполнение (АО2), а 6—9-го габаритов — как закрытое обдуваемое (АО2), так и защищенное (А2). Вентиляционная система двигателей второй единой серии несколько улучшена, что способствует более интенсивному охлаждению машин.

Корпуса и подшипниковые щиты электродвигателей второй единой серии выполнены из чугуна, однако у двигателей 1—3-го габаритов типа АОЛ2 корпуса и подшипниковые щиты — из алюминиевого сплава.

Сердечники статоров двигателей имеют полузакрытые пазы. Статорные обмотки — всыпные, выполнены проводом марки ПЭТ (кроме двигателей специализированных исполнений), у двигателей 1—3-го и частично 4-го габаритов — однослойные, а у двигателей бóльших габаритов — двухслойные.

Электродвигатели рассчитаны на питание напряжением 220/380, 380 и 500 В. При тропическом исполнении применено напряжение 230/400 В.

На рис. 27 показана конструкция двигателей второй единой серии. Система обозначения типа двигателя как первой, так и второй единой серии—буквенно-цифровая. Например, обозначение АО-51-4 расшифровывается так: А — асинхронный, О — обдуваемый, первая цифра после букв — номер габарита, вторая цифра — номер длины, последняя цифра (после черточки) — число полюсов. Следовательно, указанное обозначение относится к входящему в состав первой единой серии трехфазному асинхронному электродвигателю с короткозамкнутым ротором, в закрытом обдуваемом испол-

а)

б)

Рис. 27. Асинхронные электродвигатели второй единой серии:

а — АО2-41, *б* — АК2-81; *1* — вал, *2* — крышка подшипника, *3* — подшипник, *4* — подшипниковый щит, *5* — выводные провода обмотки статора, *6* — катушка однослойной обмотки статора, *7* — корпус статора, *8* — подъемное кольцо (рым), *9* — сердечник статора, *10* — сердечник ротора, *11* — скоба, стягивающая пакет сердечника статора, *12* — кожух вентилятора наружного обдува, *13* — вентилятор наружного обдува, *14* — болт крепления ступицы вентилятора на валу, *15* — лопатки вентилятора, перемешивающего воздух внутри машины, *16* — коробка выводов, *17* — обмотка ротора, *18* — нажимная шайба, *19* — бандаж лобовой части обмотки ротора, *20* — вывод от роторной обмотки к контактному кольцу, *21* — кольцо, поддерживающее лобовые части роторной обмотки, *22* — бобышки нажимной шайбы, к которым крепится поддерживающее кольцо, *23* — диск, на котором крепится ось щеткодержателя, *24* — наружная крышка подшипниковой камеры (прижимается диском *23*), *25* — контактные кольца, *26* — съемный кожух контактных колец, *27* — замок съемного кожуха

нении, с сердечником 5-го габарита и первой длины, четырехполюсному.

Обозначение АО2-61-6 относится к входящему в состав второй единой серии трехфазному асинхронному электродвигателю с короткозамкнутым ротором, имеющему закрытое обдуваемое исполнение, с сердечником 6-го габарита и первой длины, шестиполюсному.

Новая единая серия 4А, разработанная и внедряемая в настоящее время взамен прежних серий асинхронных электродвигателей

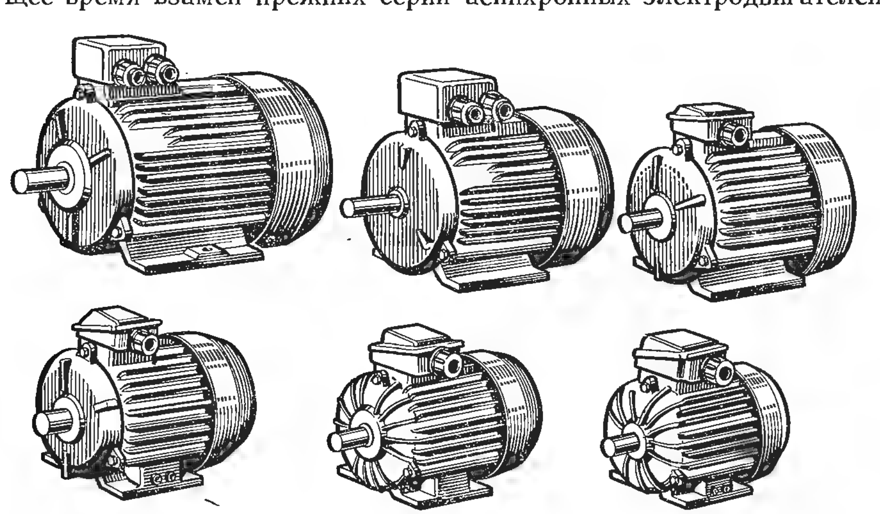


Рис. 28. Трехфазные асинхронные электродвигатели единой серии 4А

общепромышленного применения, отражает дальнейший качественный рост отечественной электротехнической промышленности. Двигатели серии 4А (рис. 28) выгодно отличаются от соответствующих электродвигателей прежних серий меньшими массой и габаритами, сниженным уровнем шума и вибраций, увеличенными пусковыми моментами, повышенной надежностью. Так, например, если в первой единой серии электродвигатель с короткозамкнутым ротором, имеющий закрытое обдуваемое исполнение и рассчитанный на мощность 4 кВт при синхронной частоте вращения 1500 об/мин, обладал массой 79 кг и кратностью пускового момента 1,4, то во второй единой серии масса такого двигателя была уменьшена до 60 кг, а кратность пускового момента увеличена до 1,5; в серии же 4А эти величины равны соответственно 40,5 кг и 2.

Улучшение качества двигателей новой единой серии достигнуто благодаря применению в магнитопроводах лучшей электротехнической стали с меньшими удельными потерями и большей магнитной проницаемостью, использованию новых нагревостойких и высокопрочных материалов для электрической изоляции обмоток, а также усовершенствованию системы вентиляции. По технико-эко-

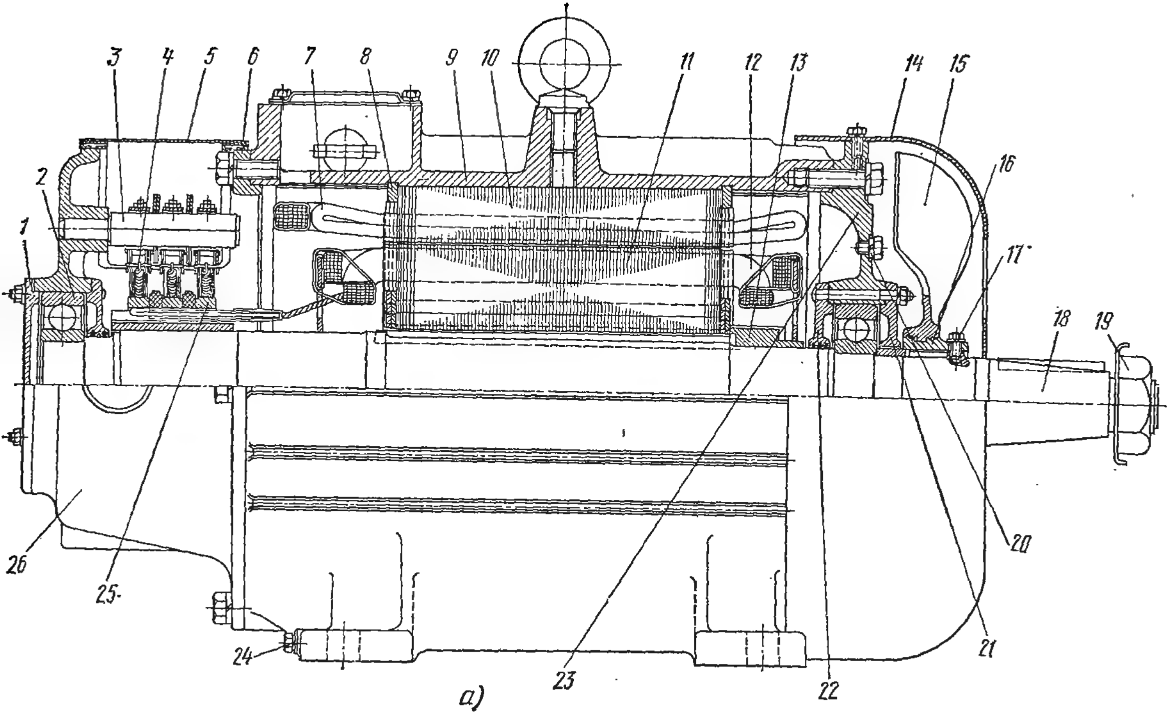
номическим показателям и эксплуатационной надежности электродвигатели серии 4А не уступают лучшим зарубежным образцам. Серия охватывает двигатели мощностью от 0,12 до 400 кВт и содержит все необходимые народному хозяйству модификации основного и специализированного исполнений по конструкции, условиям окружающей среды, способу монтажа и т. д.

Шкала мощностей двигателей серии 4А в интервале от 0,55 до 110 кВт такова: 0,55—0,75—1,1—1,5—2,2—3,0—4,0—5,5—7,5—11—15—18,5—22—30—37—45—55—75—90—110 кВт. В указанном интервале мощностей шкала высот осей вращения содержит следующие их значения: 63, 71, 80, 90, 110, 112, 132, 160, 180, 200, 225 мм.

Система обозначений типа двигателей в новой единой серии существенно изменена. На принадлежность двигателей к данной серии указывают символы 4А (закрытое обдуваемое исполнение) или 4АН (брызгозащищенное исполнение) в начале обозначения. Если после этого стоит еще одна буква А, то это означает, что корпус и подшипниковые щиты двигателя выполнены из алюминиевого сплава, а если здесь стоит буква Х, то двигатель имеет алюминиевый корпус и чугунные подшипниковые щиты (отсутствие букв А или Х означает, что как корпус, так и подшипниковые щиты двигателя выполнены из чугуна). Затем в обозначении ставится буква, указывающая электрическую модификацию, например С, соответствующая двигателям с повышенным скольжением. Далее стоит число, означающее высоту оси вращения двигателя в мм. Следующие буквы указывают градации длины корпуса статора (L— длинный, М — средний, S — короткий) и сердечника (А—короткий, В — длинный). Затем дается число полюсов, причем если двигатель многоскоростной, то даются все значения числа полюсов, разделенные косыми линиями. Последующие дополнительные буквы указывают на то или иное специализированное исполнение (Н — малошумное, ВМ — влагоморозостойкое и др.).

Так, например, обозначение 4А71А4 относится к асинхронному двигателю новой единой серии 4А, имеющему короткозамкнутый ротор, закрытое обдуваемое исполнение, чугунные корпус и подшипниковые щиты, высота оси вращения двигателя над плоскостью опоры — 71 мм, длина сердечника — короткая, двигатель четырехполюсной, исполнение — основное (не специализированное). Обозначение 4АХ71В4 указывает, что этот двигатель в отличие от предыдущего имеет корпус из алюминиевого сплава, а сердечник магнитопровода — длинный. Обозначение 4АХС90L4 означает, что это двигатель закрытого обдуваемого исполнения, с короткозамкнутым ротором, имеющий алюминиевый корпус и чугунные подшипниковые щиты, относится к электрической модификации с повышенным скольжением, высота оси вращения — 90 мм, корпус статора двигателя — длинный, число полюсов — 4, исполнение основное. Двигатель типа 4АХ90L4/2 относится к модификации многоскоростных, т. е. имеет обмотку статора, которая может переключаться с четырех на два полюса.

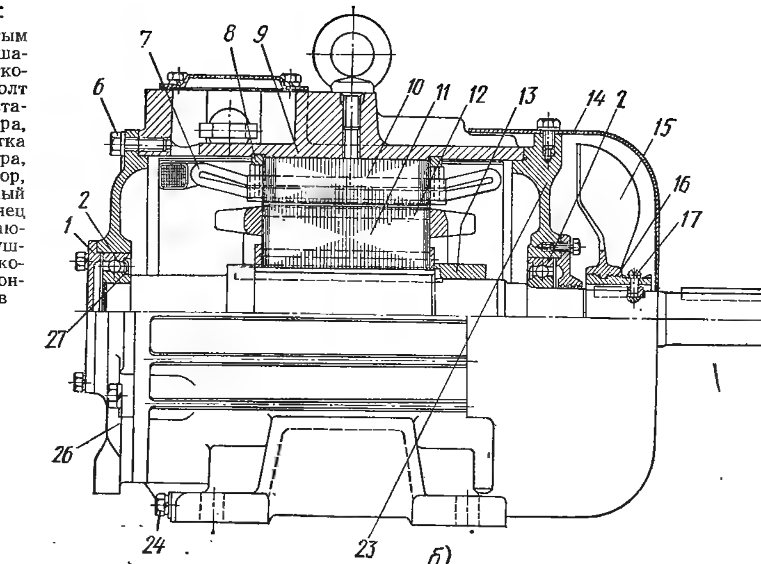
Крановые электродвигатели серий МТ (с фазным ротором) и



a)

Рис. 29. Крановые асинхронные электродвигатели:

а — МТ-41 с фазным ротором, *б* — МТК-11 с короткозамкнутым ротором; *1, 21* и *22* — крышки подшипниковых камер, *2* — шариковый подшипник, *3* — палец щеткодержателей, *4* — щеткодержатель, *5* — крышка окна в подшипниковом щите, *6* — болт крепления подшипникового щита, *7* — двухслойная обмотка статора, *8* — запорное кольцо сердечника, *9* — корпус статора, *10* — сердечник статора, *11* — сердечник ротора, *12* — обмотка ротора, *13* — втулка на валу, прижимающая сердечник ротора, *14* — кожух вентилятора, *15* — литой алюминиевый вентилятор, *16* — стальная втулка, залитая в вентилятор, *17* — стопорный винт крепления вентилятора, *18* — конический рабочий конец вала со шпонкой, *19* — затяжная гайка, *20* — болт, закрывающий отверстие в подшипниковом щите для измерения воздушного зазора между статором и ротором, *23* и *26* — подшипниковые щиты, *24* — болт для присоединения заземления, *25* — контактные кольца, *27* — защитная шайба шарикоподшипников



МТК (с короткозамкнутым ротором), предназначенные для привода подъемных и других механизмов, которым свойственны кратковременные и повторно-кратковременные режимы работы с частыми пусками, торможениями и большими перегрузками, должны обладать не только весьма высокой механической прочностью,

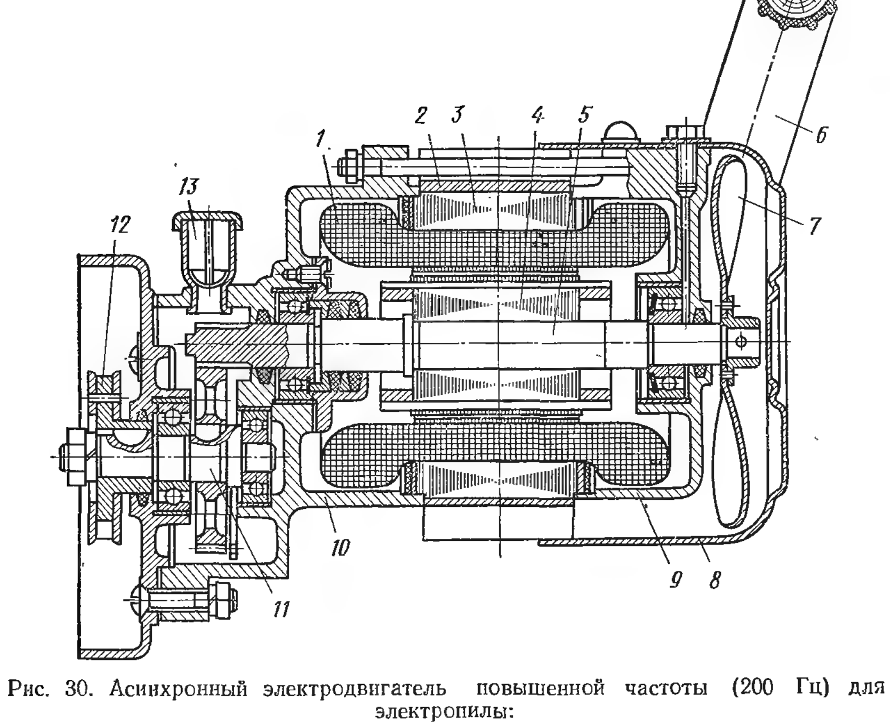


Рис. 30. Асинхронный электродвигатель повышенной частоты (200 Гц) для электропилы:

1 — обмотка статора, *2* — корпус статора, *3* — сердечник статора, *4* — сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой, *5* — вал, *6* — рукоятка электропилы, укрепленная на кожухе вентилятора, *7* — вентилятор пропеллерного типа, *8* — кожух вентилятора, *9* — задний подшипниковый щит, *10* — передний подшипниковый щит, совмещенный с корпусом редуктора, *11* — ведомая шестерня редуктора (ведущей шестерней является конец вала *5* с нарезанными на нем зубьями), *12* — ведущая звездочка пильной цепи, *13* — масленка редуктора

но и повышенной нагревостойкостью изоляции (класс В), особенно если учесть то обстоятельство, что эти двигатели используются в металлургическом производстве, где они подвержены действию высокой окружающей температуры. Кроме того, удовлетворительная работа в указанных выше режимах требует пониженной инерционности вращающихся частей и повышенной перегрузочной способности, что может быть достигнуто, если двигатель имеет удлиненную форму.

На рис. 29,*а* видны особенности конструкции этих машин. Двигатель имеет удлиненную форму и закрытое обдуваемое исполне-

ние. Вентилятор *15* размещен со стороны рабочего конца вала. Выступающая часть вала *18* — конической формы, со шпонкой, с резьбой и гайкой *19* на конце. Такая конструкция позволяет плотно и надежно закрепить на валу муфту, соединяющую двигатель с приводным механизмом. Вал двигателя имеет повышенную прочность. Фазная обмотка ротора *12* плотно закреплена в пазах, а лобовые части ее удерживаются усиленными бандажами. Задний подшипниковый щит *26* находится не перед контактными кольцами, как у двигателей АК и АК2, а за ними, т. е. контактные кольца помещены внутри двигателя.

На рис. 29, *б* показан общий вид кранового двигателя МТК с короткозамкнутым ротором. По конструкции он сходен с двигателем МТ, но не имеет контактных колец. У изображенного на рисунке двигателя 1-го габарита нет внутренних подшипниковых крышек, так как здесь применены шарикоподшипники *2* с защитной шайбой *27*.

Асинхронные электродвигатели повышенной частоты (чаще всего на 200 и 400 Гц) нашли широкое применение для привода электроинструментов (дрелей, электропил и др.), используемых во многих отраслях народного хозяйства: в строительном деле, на лесозаготовках, в сельскохозяйственном производстве и т. д. Это небольшие по мощности (до 3 кВт), размерам и массе (до 7 кг), но высокооборотные (на 6000, 12 000 и даже 24 000 об/мин) двигатели с короткозамкнутым ротором, обычно встраиваемые в электроинструмент и имеющие закрытое обдуваемое исполнение.

Электродвигатели повышенной частоты для электроинструментов выпускаются на напряжение 36, 42, 127 и 220 В. На рис. 30 показан в разрезе электродвигатель повышенной частоты (200 Гц) для переносной цепной электропилы. Электродвигатель имеет номинальную мощность 1,7 кВт и синхронную частоту вращения 12 000 об/мин. Масса двигателя — 5,5 кг.

Особенности конструкции таких двигателей: применение для магнитопроводов более тонких листов (толщиной 0,35 и 0,25 мм) электротехнической стали высокого качества, что связано со стремлением уменьшить потери энергии в магнитопроводе при повышенной частоте; применение прочной, влагостойкой и нагревостойкой (классов Е и В) изоляции обмотки статора *1*, поскольку от качества изоляции зависит электробезопасность рабочего; применение легких алюминиевых и магниевых сплавов для корпусов *2*, подшипниковых щитов *9* и *10*, а также других конструктивных деталей; совмещение функций ряда узлов и деталей двигателя (например, передний подшипниковый щит *10* одновременно является корпусом редуктора, рабочий конец вала *5* является ведущей шестерней редуктора, кожух *8* вентилятора *7* служит для установки рукоятки *6* и др.).

Асинхронные преобразователи частоты (рис. 31) чаще всего используют для питания электроинструментов с двигателями повышенной частоты. Обычно асинхронный преобразователь частоты тока с 50 на 200 Гц представляет собой агрегат, состоящий из

двухполюсного приводного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и генератора, являющегося шестиполюсной асинхронной машиной с фазным ротором. Двигатель и генератор имеют общий корпус, а роторы обеих машин имеют общий вал. Обмотки статоров электродвигателя и генератора включают-

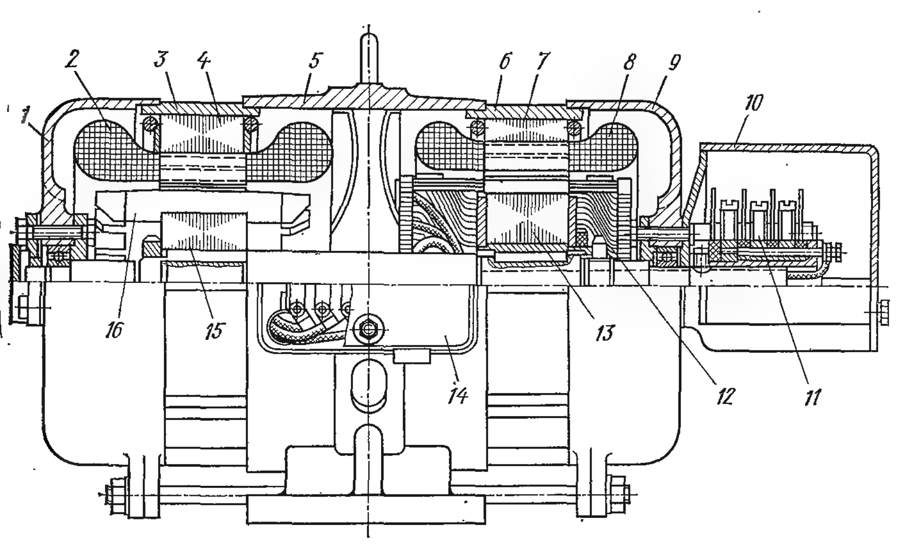


Рис. 31. Асинхронный преобразователь частоты И-75:

1 — подшипниковый щит со стороны двигателя, *2* — обмотка статора приводного двигателя, *3* — корпус статора двигателя, *4* — сердечник статора двигателя, *5* — корпус, соединяющий двигатель с генератором, *6* — корпус статора генератора, *7* — сердечник статора генератора, *8* — обмотка статора генератора, *9* — подшипниковый щит со стороны генератора, *10* — кожух контактных колец генератора, *11* — контактное кольцо генератора, *12* — обмотка (фазная) ротора генератора, *13* — сердечник ротора генератора, *14* — коробка выводов, *15* — сердечник ротора двигателя, *16* — обмотка (короткозамкнутая) ротора двигателя

ся в трехфазную сеть 50 Гц таким образом, что создаваемые ими магнитные поля вращаются в разные стороны. Ротор генератора, приводимый в движение двухполюсным электродвигателем, вращается с частотой около 3000 об/мин, а магнитное поле, созданное статором генератора, — в противоположную сторону с частотой 1000 об/мин. При этом в трехфазной шестиполюсной обмотке фазного ротора генератора индуктируется трехфазный ток частоты $\approx$200 Гц, который через контактные кольца и наложенные на них щетки отводится к нагрузке. Часть энергии, преобразуемой генератором преобразователя частоты, поступает к нему в виде механической энергии от приводного электродвигателя (примерно $^3/_4$), а остальная часть — непосредственно от сети 50 Гц через обмотку статора.

Следует отметить, что у некоторых асинхронных преобразователей частоты генератор имеет «обращенное» исполнение, т. е. ток частоты 50 Гц подводится к роторной обмотке (через щетки и контактные кольца), а со статорной обмотки снимается ток

частоты 200 Гц. При таком исполнении преобразователя трехфазные обмотки статора двигателя и ротора генератора подключаются к сети 50 Гц таким образом, что направления вращения создаваемых ими магнитных полей совпадают Обращенное исполнение генераторов применяют обычно в преобразователях, питающих сеть повышенной частоты (200 Гц) напряжением 36 и 42 В, поскольку такая конструкция позволяет уменьшить ток, проходящий через контактные кольца и щетки.

Однофазные асинхронные электродвигатели мощностью от десятков ватт до нескольких киловатт нашли достаточно широкое применение в различного рода бытовых приборах, приводах вентиляторов бытового и производственного назначения, а также небольших станков. Их преимущество — возможность использования в таких местах и помещениях, где нет трехфазной сети, но подведена двухпроводная однофазная сеть.

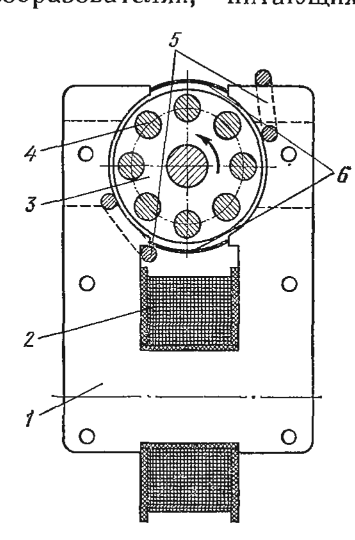


Рис. 32. Однофазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе

Одна из разновидностей однофазных асинхронных электродвигателей — двигатель с короткозамкнутым витком на полюсе (рис. 32) — применяется в устройствах, где требуется сравнительно малая мощность (десятки ватт) и не нужны большие пусковые и перегрузочные вращающие моменты, например в приводах небольших настольных вентиляторов, магнитофонов, проигрывателей и т. п.

Статор двигателя представляет собой подковообразный электромагнит, сердечник *1* которого набран из штампованных листов электротехнической стали, а обмотка *2* выполнена в виде катушки из изолированного провода. Короткозамкнутый ротор *3* имеет пазы, в которые вставлены неизолированные медные стержни *4*, припаянные по торцам к медным короткозамыкающим кольцам. В полюсных наконечниках статора выштампованы отверстия, куда вставлены короткозамкнутые витки *5* из медной проволоки, охватывающие примерно треть полюсной дуги.

При включении двигателя часть магнитного потока полюса, охваченная короткозамкнутым витком, индуктирует в нем электрический ток. Благодаря этому возникает сдвиг по фазе на некоторый угол между той частью магнитного потока, которая проходит сквозь короткозамкнутый виток, и остальной частью магнитного потока полюсного наконечника. Этого достаточно, чтобы ротор начал вращаться. Для увеличения вращающего момента между наконечниками полюсов вставляют тонкие стальные пластины *6*, ко-

торые называются магнитными шунтами. Однофазная обмотка статора рассматриваемого двигателя представляет собой намотанную на изолирующую гильзу катушку. Устройство такой обмотки предельно простое и особых разъяснений не требует.

Значительная часть однофазных асинхронных электродвигателей изготовляется на базе серийных трехфазных двигателей. Например, однофазные двигатели серии АВЕ изготовляются на базе трехфазных встраиваемых двигателей АВ и т. д. В конструкции механической части и магнитопроводов таких двигателей нет каких-либо существенных отличий по сравнению с асинхронными двигателями трехфазного тока. Главное отличие — в конструкции, выполнении и подключении статорной обмотки. Для пуска однофазных асинхронных двигателей часто используют специальную пусковую обмотку, находящуюся на статоре вместе с основной рабочей обмоткой, но смещенной на некоторый угол по отношению к ней. Пусковая обмотка зачастую подключается к сети через конденсатор, а после пуска и разгона двигателя отключается. В ряде конструкций обе обмотки являются рабочими и на все время работы двигателя остаются включенными: одна — непосредственно в сеть, вторая — через конденсатор. У многих однофазных асинхронных двигателей в цепь обмотки, включаемой в сеть через конденсатор, на время пуска подключается дополнительный (пусковой) конденсатор.

§ 9. Синхронные машины

В настоящее время в качестве генераторов трехфазного тока чаще всего используют синхронные машины. Синхронные генераторы изготовляют мощностью от сотен тысяч и даже миллиона киловатт — для крупных паротурбинных и гидравлических электростанций — до нескольких киловатт — для переносных и передвижных электроагрегатов с двигателями внутреннего сгорания.

Достаточно широкое применение получили также и синхронные электродвигатели, хотя при мощности до нескольких сотен киловатт они обычно сложнее, тяжелее и дороже асинхронных. Основная причина довольно частого использования синхронных двигателей — их способность отдавать в сеть реактивную мощность. Синхронные электродвигатели применяют в приводах, не требующих регулирования частоты вращения, частых пусков, реверсов, например для привода компрессоров, насосов и т. п.

Устройство синхронной машины существенно зависит от ее назначения и способа возбуждения. На рис. 33 для примера показано устройство дизель-генератора. Основными составными частями машины являются статор и ротор. Статор по конструкции весьма похож на статор трехфазной асинхронной машины, т. е. имеет литой или сварной корпус *1*, куда вставлен набранный из тонких штампованных листов электротехнической стали сердечник *2* с расположенными по внутренней поверхности продольными пазами *3*, в которых уложена трехфазная обмотка *4* из изолированно-

го медного провода. Статор является якорем машины, т. е. той ее частью, в которой наводится (индуктируется) основная эдс и по которой проходит основной ток машины (ток нагрузки).

Ротор синхронной машины является индуктором, т. е. той ее частью, которая создает (возбуждает) основное магнитное поле.

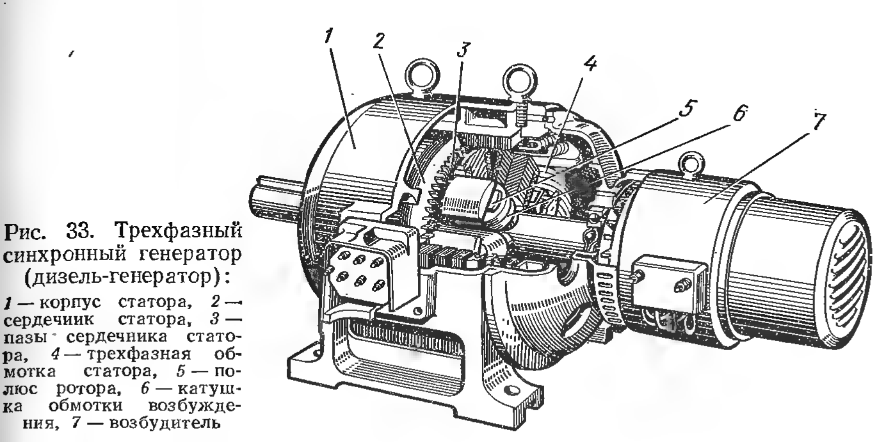


Рис. 33. Трехфазный синхронный генератор (дизель-генератор):

1 — корпус статора, *2* — сердечник статора, *3* — пазы сердечника статора, *4* — трехфазная обмотка статора, *5* — полюс ротора, *6* — катушка обмотки возбуждения, *7* — возбудитель

В некоторых небольших машинах специального назначения для этой цели используют постоянные магниты. Однако такой способ возбуждения применяется ограниченно, так как делает затруднительной регулировку напряжения машины при ее работе. Наиболее широко используемый метод возбуждения — электромагнитный. В этом случае ротор синхронной машины представляет собой электромагнит, имеющий стальной сердечник с выступами (полюсами) *5*, на которые надеты катушки обмотки возбуждения, питаемой постоянным током от специальной машины — возбудителя *7*.

Роторы синхронных машин могут быть явнополюсными (рис. 34), когда каждый полюс выполнен в виде отдельного конструктивного узла со своим сердечником, полюсным наконечником и катушкой, или неявнополюсными (рис. 35), имеющими цилиндрическую форму с продольными пазами по наружной поверхности, в которые уложена обмотка возбуждения.

Роторы явнополюсной конструкции (см. рис. 34) применяют, как правило, в синхронных машинах, имеющих четыре и более полюсов. Сердечник *1* набирают в виде пакета из отдельных штампованных стальных листов толщиной 1—1,5 мм, которые сжимаются с обеих сторон более толстыми нажимными щеками, предотвращающими распушение пакета. Иногда применяют литые сердечники полюсов. Ярмо *4* явнополюсного ротора, т. е. та часть его магнитопровода, через которую проходит магнитный поток от полюса к полюсу, может выполняться литым, сварным или набранным из листов стали толщиной 1—6 мм и стянутых шпильками. Полюса закреплены на арме либо винтами, проходящими сквозь тело сердечника полюса и ввернутыми в тело ярма, либо имеют специальное

крепление, например, такой конструкции, как показано на рисунке. Надетая на каждый полюс катушка *3* является частью обмотки возбуждения. Полюсные катушки соединены между собой таким образом, что при прохождении по обмотке возбуждения постоянного тока полярности полюсов ротора чередуются.

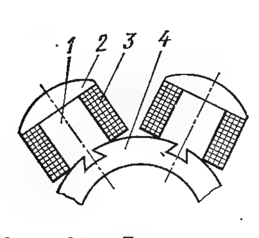


Рис. 34. Явнополюсный ротор синхронной машины:

1 — сердечник, *2* — полюсный наконечник, *3* — полюсная катушка, *4* — ярмо (обод)

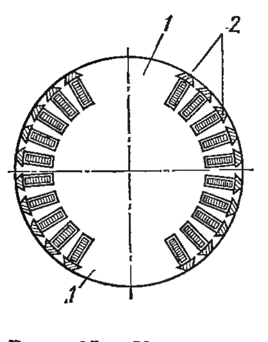


Рис. 35. Неявнополюсный ротор синхронной машины:

1 — зуб (полюс), *2* — пазы

Роторы неявнополюсной конструкции (см. рис. 35), обладающие большой механической прочностью сердечника и крепления обмотки возбуждения, применяются в быстроходных двухполюсных синхронных машинах, например в турбогенераторах. Сердечник неявнополюсного ротора может изготовляться в виде цельной стальной поковки (вместе с концами вала) или же выполняться сборным. Сердечник имеет форму удлиненного цилиндра с профрезерованными на двух третях его поверхности продольными пазами *2*. Свободная от пазов часть цилиндрической поверхности образует два больших зуба (полюса) *1*. В пазы сердечника укладывают и закрепляют клиньями обмотку возбуждения. Лобовые части ее с обеих сторон удерживаются бандажными кольцами, изготовляемыми обычно из немагнитной стали.

Концы обмотки возбуждения синхронной машины присоединены к двум контактным кольцам, вращающимся вместе с ротором и электрически изолированным от вала и между собой. Через скользящий контакт между неподвижными щетками и вращающимися контактными кольцами к обмотке возбуждения подводится постоянный ток.

Источником питания обмотки возбуждения синхронной машины часто служит специальный генератор постоянного тока, называемый возбудителем, который приводится во вращение от основного вала синхронной машины. В последние годы широкое распространение получили также синхронные машины с самовозбуждением, у которых питание обмотки возбуждения осуществляется от обмотки якоря (статора) генератора, но для преобразования переменного тока в постоянный используются полупроводниковые, ионные или механические выпрямители.

У большинства синхронных электродвигателей, рассчитанных на асинхронный пуск, явнополюсные роторы имеют дополнительно специальную пусковую короткозамкнутую обмотку, стержни которой заложены в пазы полюсных наконечников, а торцы стержней соединены с обеих сторон короткозамыкающими кольцами (рис. 36).

В синхронных машинах, имеющих значительную осевую длину, сердечник статора разделяют на несколько пакетов, между которыми оставляют вентиляционные каналы, способствующие более интенсивному охлаждению.

Иногда применяют синхронные машины обращенного исполнения, у которых индуктором является статор, где расположены полюса и обмотка возбуждения, а якорем — ротор, в пазах которого располагается трехфазная обмотка, соединяемая с сетью через три контактных кольца и щетки. Находят применение также и некоторые другие специальные конструкции синхронных генераторов и электродвигателей.

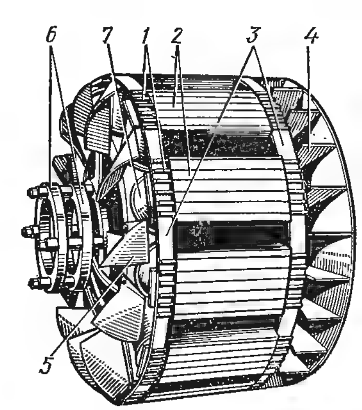


Рис. 36. Ротор (без вала) трехфазного синхронного двигателя с пусковой обмоткой для асинхронного пуска:

1 — стержни пусковой обмотки, *2* — пазы в полюсных наконечниках для укладки стержней пусковой обмотки, *3* — короткозамыкающие кольца пусковой обмотки, *4* и *5* — вентиляционные лопасти, *6* — контактные кольца, *7* — полюсная катушка обмотки возбуждения

Ремонт обмоток крупных синхронных машин требует специального оборудования и практически очень редко выполняется силами обычных электроремонтных мастерских промышленных предприятий. Здесь, как правило, ремонтируют машины мощностью от 1—2 до 100 кВт, наиболее типичные конструкции которых рассмотрены ниже.

Синхронные машины серии СГ (рис. 37) изготовляются мощностью от 15 до 60 кВт и применяются как в качестве генераторов, так и в качестве электродвигателей. Отлитый из чугуна корпус *9* машины на внутренней поверхности имеет ребра *11*, с помощью которых закреплен сердечник *10* статора, представляющий собой пакет, набранный из штампованных листов. В пазах статора уложена трехфазная обмотка *12* и ее концы выведены на щиток зажимов, расположенный в закрытой коробке выводов *20*.

Подшипниковые щиты *8* и *13* крепятся к корпусу на болтах. К подшипниковому щиту *8* привернут корпус *5* возбудителя *27*, который представляет собой генератор постоянного тока. Якорь возбудителя насажен непосредственно на консольный конец вала.

На вал *16* ротора напрессована втулка *23*, к которой с помощью винтов *21* прикреплены полюса, имеющие шихтованные (набранные из стальных штампованных листов) сердечники *22* и надетые на них катушки *19*. Вал вращается в двух подшипниках качения *15* и *26*. Подшипник *26* со стороны возбудителя — шариковый, а подшипник *15* со стороны привода — роликовый.

Постоянный ток с коллектора *1* возбудителя снимается щетками *2* и двумя проводами подается к щеткам *25* контактных колец *24*, от которых поступает в обмотку возбуждения *19*, расположенную на роторе синхронной машины.

Вентилятор *14* состоит из штампованной детали, имеющей форму чаши, и прикрепленных к ней лопастей. Вентилятор винтами крепится к втулке *18*, насаженной на вал. Охлаждающий воздух засасывается через окна в подшипниковом щите *8* и через торцевую часть возбудителя *27*, а выбрасывается через окна подшипникового щита *13*, закрытые предохранительными сетками *17*.

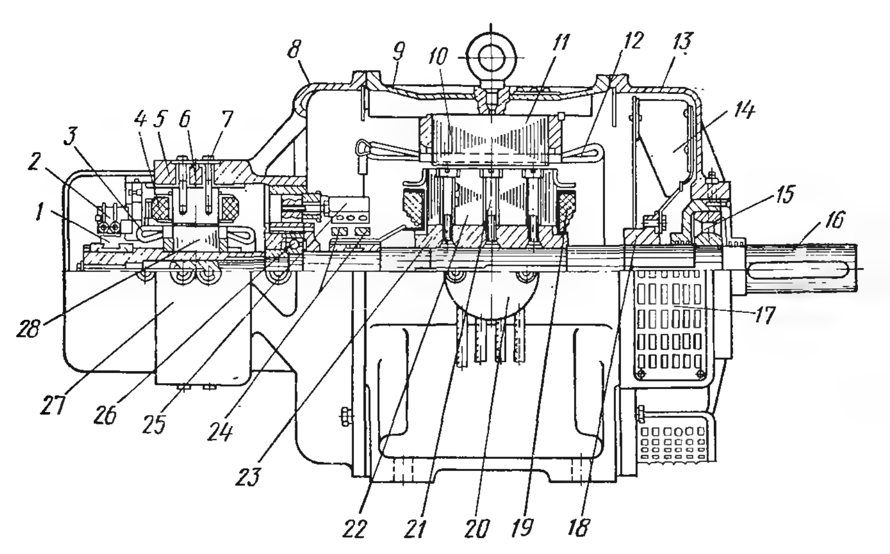


Рис. 37. Синхронный генератор СГ-60/6:

1 — коллектор, *2* — щеткодержатели и щетки возбудителя, *3* — обмотка якоря возбудителя, *4* — обмотка возбуждения возбудителя, *5* — корпус возбудителя, *6* — сердечник полюса возбудителя, *7* — болты, *8* и *13* — подшипниковые щиты, *9* — корпус статора синхронного генератора, *10* — сердечник статора синхронного генератора, *11* — ребро корпуса статора, *12* — трехфазная обмотка статора синхронного генератора, *14* — вентилятор, *15* — роликовый подшипник, *16* — вал, *17* — предохранительная сетка, *18* — втулка для крепления вентилятора, *19* — катушка обмотки возбуждения синхронного генератора, *20* — коробка выводов, *21* — винт крепления полюса ротора генератора, *22* — сердечник полюса ротора генератора, *23* — втулка для крепления полюсов ротора (ярмо), *24* — контактные кольца, *25* — щеткодержатели и щетки контактных колец, *26* — шарикоподшипник, *27* — возбудитель, *28* — сердечник якоря возбудителя

Для сочленения машины с приводом на выступающий конец ее вала *16* (со стороны, противоположной возбудителю) насаживается полумуфта или шкив ременной передачи. Чтобы обеспечить возможность разборки и сборки машины без снятия с вала якоря возбудителя, шарикоподшипник *26*, устанавливаемый в подшипниковом щите *8*, заключен в специальный съемный капсюль, диаметр которого больше диаметра якоря возбудителя.

В синхронной машине может быть использован принцип самовозбуждения, что позволяет избавиться от возбудителя. Синхронные генераторы единой серии с самовозбуждением (серия ЕСС) изготовляются в диапазоне мощностей от 5 до 75 кВт и предназначены для работы в качестве источников электроэнергии трехфазного тока частотой 50 Гц в стационарных и передвижных электроагрегатах и электростанциях. Генераторы снабжены аппарату-

рой самовозбуждения (через полупроводниковые выпрямители) и автоматического регулирования напряжения.

Генераторы выпускают в двух конструктивных исполнениях: на лапах с двумя одинаковыми подшипниковыми щитами (1М1) и на лапах с двумя подшипниковыми щитами, один из которых имеет фланец (1М2).

Обозначение типа генератора включает в себя наименование серии, габарит, условный номер длины сердечника статора, число

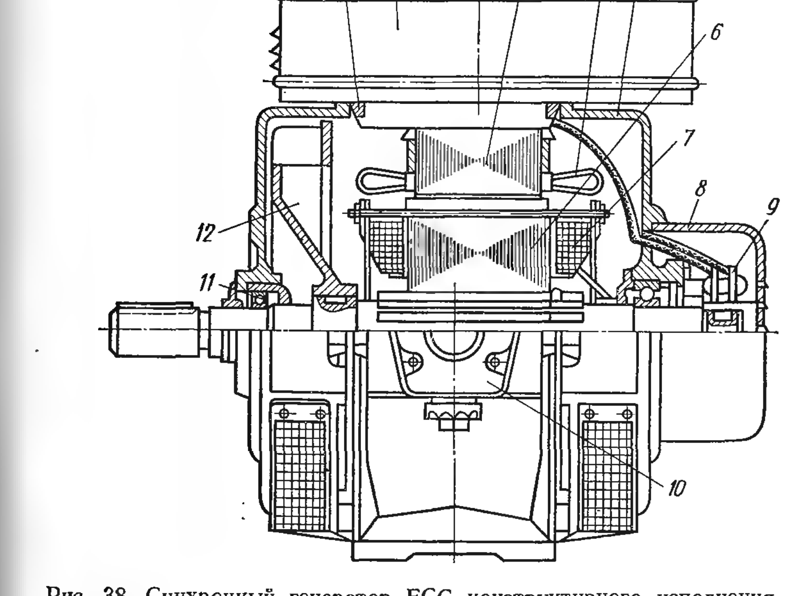


Рис. 38. Синхронный генератор ЕСС конструктивного исполнения 1М1:
1 — корпус статора, *2* — коробка с селеновыми выпрямителями и аппаратурой автоматического регулирования напряжения, *3* — сердечник статора, *4* — обмотка статора, *5* — подшипниковый щит, *6* — сердечник ротора, *7* — обмотка ротора, *8* — кожух, *9* — узел контактных колец, *10* — коробка выводов, *11* — подшипник, *12* — вентилятор

полюсов и форму исполнения. Например, обозначение ЕСС-82-4-1М1 (прежнее обозначение формы исполнения М101) соответствует генератору единой серии с самовозбуждением, 8-го габарита, второй длины, с четырьмя полюсами, с двумя одинаковыми подшипниковыми щитами.

На рис. 38 показан разрез генератора серии ЕСС формы исполнения 1М1. Литой чугунный корпус *1* статора имеет цилиндрическую форму. В верхней части корпуса сделан проем, над которым устанавливают коробку *2* с помещенными внутри селеновыми выпрямителями и аппаратурой автоматического регулирования напряжения.

Запрессованный в корпусе *1* шихтованный сердечник статора *3*

имеет пазы, в которых расположена всыпная трехфазная обмотка *4*, соединенная по схеме «звезда с нулем». Литые чугунные подшипниковые щиты *5* в нижней части имеют окна для прохождения воздуха, защищенные сетками, выштампованными из листовой стали.

В центральных расточках подшипниковых щитов помещены подшипники *11*. В генераторах 5-го габарита оба подшипника шариковые, а в генераторах больших габаритов подшипник со стороны привода роликовый.

Сердечник *6* ротора собран из листов электротехнической стали, которые выштампованы в виде четырехконечных звездочек из кружков, остающихся от штамповки листов статора. Гребенчатая форма полюсов обеспечивает распределение магнитного поля в воздушном зазоре, близкое к синусоидальному. Сердечник ротора закреплен на валу по всей длине шлицевым соединением, а с торцев — двумя пружинными кольцами.

Обмотка *7* ротора состоит из четырех катушек, намотанных прямоугольным медным проводом. Катушки соединены последовательно, а выводные концы обмотки возбуждения пропущены через сверление в валу и подключены к двум латунным контактным кольцам *9*. Скользящие по контактным кольцам щетки помещены в щеткодержатели, которые укреплены на траверсе, привернутой к подшипниковому щиту. Узел контактных колец и щеток закрыт кожухом *8*, имеющим жалюзи и отверстия для поступления охлаждающего воздуха.

Постоянный ток к обмотке возбуждения поступает (через контактные кольца и щетки) от селеновых выпрямителей, питаемых обмоткой статора генератора через специальные четырехобмоточные стабилизирующие трансформаторы.

Для охлаждения генератора служит насаженный на его вал центробежный вентилятор *12*. Воздух засасывается со стороны контактных колец и выбрасывается со стороны привода.

§ 10. Коллекторные машины

Наибольшее распространение получили коллекторные машины, работающие на постоянном токе. Они используются как в качестве электродвигателей, так и в качестве генераторов.

Электродвигатели постоянного тока позволяют в широких пределах плавно регулировать частоту вращения, а также развивают большой пусковой вращающий момент, что особенно важно для электрического транспорта, различных грузоподъемных устройств, многих машин, применяемых в металлургическом производстве. Эти свойства обусловили довольно широкое использование двигателей постоянного тока в ряде отраслей народного хозяйства, хотя наличие достаточно сложной якорной обмотки, коллектора и щеточного аппарата делает машины постоянного тока более дорогими и менее надежными, чем бесколлекторные машины переменного тока. К тому же применение двигателей постоянного тока зачастую

связано с необходимостью преобразования переменного тока, получаемого из сети, в постоянный ток.

Генераторы постоянного тока используются для питания электродвигателей, зарядки аккумуляторов, электрической сварки металлов, а также применяются в качестве возбудителей синхронных машин.

Устройство типичной коллекторной машины постоянного тока показано на рис. 39. Машина состоит из неподвижной части — ста-

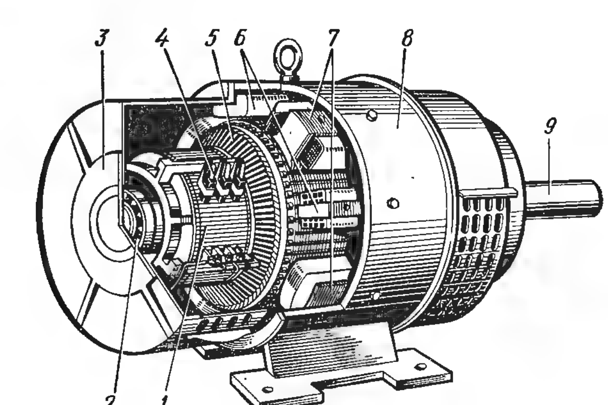


Рис. 39. Устройство машины постоянного тока: *1* — коллектор, *2* — подшипник, *3* — подшипниковый щит, *4* — щеткодержатели со щетками, *5* — якорь, *6* — добавочные полюса, *7* — главные полюса, *8* — станина, *9* — вал

тора и вращающейся — ротора, которые разделены воздушным зазором. Статор, являясь механическим остовом машины, одновременно служит ее индуктором, т. е. создает основное магнитное поле, а также является частью магнитопровода. Цилиндрическую станину *8* статора изготовляют из стали, которая обладает достаточной механической прочностью и магнитной проницаемостью. Станина либо литая, либо выполнена из толстого стального листа, свернутого в цилиндр и сваренного.

На внутренней поверхности станины укреплены главные полюса *7*, создающие основное магнитное поле машины, а катушки этих полюсов образуют обмотку возбуждения. Между основными полюсами расположены дополнительные полюса *6* со своими катушками. Назначение дополнительных полюсов — ослабление воздействия магнитного поля якоря на основное магнитное поле машины, создаваемое главными полюсами (ослабление реакции якоря), и улучшение условий коммутации секций якорной обмотки, т. е. уменьшение искрения под щетками. Сердечник главных и дополнительных полюсов в машинах малой и средней мощности чаще всего изготовляют в виде пакетов из штампованных стальных листов толщиной 1 или 2 мм. Листы спрессованы и стянуты шпильками. Полюсные катушки выполняют из изолированного медного провода. Полюса крепятся к станине болтами или шпильками.

В торцевых частях станины закрепляют подшипниковые щиты *3* с шариковыми или роликовыми подшипниками *2*, в которых вращается вал *9* ротора *5*, служащего якорем машины, т. е. той ее

частью, в которой наводится (индуктируется) основная эдс. На подшипниковом щите, расположенном со стороны коллектора *1*, укреплены щеткодержатели со щетками *4*.

Ротор (якорь) машины (рис. 40) состоит из вала *4*, сердечника *3*, обмотки *2* и коллектора *1*. Сердечник, набранный из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,35 или

Рис. 40. Якорь (ротор) машины постоянного тока:
а — в сборе, *б* — в процессе намотки, *в* — штампованный лист сердечника якоря; *1* — коллектор, *2* — обмотка, *3* — сердечник, *4* — вал, *5* — вентиляционные отверстия, *6* — секции обмотки, *7* — место для бандажа, *8* — обмоткодержатель

0,5 мм и обычно покрытых лаком, представляет собой пакет цилиндрической формы с пазами и зубцами по наружной поверхности. Пакет насаживается на вал и удерживается в сжатом состоянии нажимными шайбами. В теле сердечника якоря зачастую устраивают вентиляционные каналы, образуемые круглыми отверстиями *5* в штампованных листах. Вентиляционные каналы улучшают охлаждение якоря.

Обмотка якоря расположена в пазах сердечника. Она выполняется из изолированного медного провода круглого или прямоугольного сечения и состоит из секций *6*, укладываемых в предварительно изолированные пазы. Обмотку закрепляют в пазах деревянными или текстолитовыми клиньями. В ряде конструкций коллекторных машин обмотку якоря укрепляют бандажами из стальной или бронзовой проволоки, а чтобы бандаж не выступал, диаметр сердечника в этом месте *7* делается несколько меньшим. Лобовые (торцевые) части обмотки якоря в большинстве случаев крепят к специальному обмоткодержателю *8* также с помощью бандажей.

Коллектор машины (рис. 41) состоит из медных пластин *1*, отделенных друг от друга изоляционными прокладками *2*. Мате-

риалом для коллекторных пластин служит холоднокатаная коллекторная медь, а для изоляционных прокладок — коллекторный миканит — материал, состоящий из пластинок слюды, склеенных смолой.

В коллекторе арочного типа медные коллекторные пластины, а также находящиеся между ними миканитовые изоляционные про-

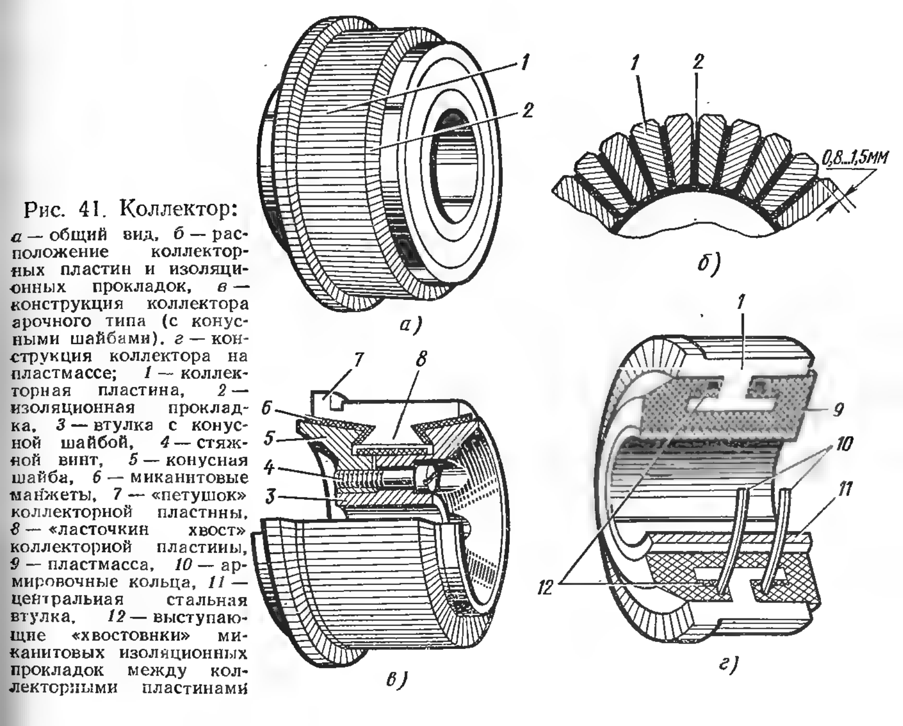


Рис. 41. Коллектор:
а — общий вид, *б* — расположение коллекторных пластин и изоляционных прокладок, *в* — конструкция коллектора арочного типа (с конусными шайбами), *г* — конструкция коллектора на пластмассе; *1* — коллекторная пластина, *2* — изоляционная прокладка, *3* — втулка с конусной шайбой, *4* — стяжной винт, *5* — конусная шайба, *6* — миканитовые манжеты, *7* — «петушок» коллекторной пластины, *8* — «ласточкин хвост» коллекторной пластины, *9* — пластмасса, *10* — армировочные кольца, *11* — центральная стальная втулка, *12* — выступающие «хвостовики» миканитовых изоляционных прокладок между коллекторными пластинами

кладки в нижней своей части имеют форму ласточкина хвоста и скрепляются в единую конструкцию с помощью стальных конусных шайб, стягиваемых винтами. Конусные шайбы изолированы от коллекторных пластин с помощью миканитовых манжет и миканитового цилиндра. В верхней части коллекторных пластин со стороны, обращенной к сердечнику якоря, имеются выступы, называемые петушками, к которым присоединяют (чаще всего припаивают) концы секции якорной обмотки.

В коллекторе на пластмассе набор медных коллекторных пластин *1* и миканитовых изоляционных прокладок скрепляется пластмассой *9*, запрессованной между ними и центральной стальной цилиндрической втулкой *11*. Для увеличения механической прочности коллектора пластмассу зачастую армируют стальными кольцами *10*, которые опираются на выступающие «хвостовики» миканитовых изоляционных прокладок *12*, что исключает возможность замыкания армирующими кольцами коллекторных пластин.

Коллекторы на пластмассе проще и дешевле коллекторов арочного типа и в настоящее время широко применяются в машинах сравнительно небольшой мощности. Для крупных машин более надежны коллекторы арочного типа.

Щеточное (токосъемное) устройство машин (рис. 42) обычно состоит из траверсы *1*, пальцев (бракетов) *2* и щеткодержателей, куда вставлены щетки, через которые осуществляется электрический контакт с пластинами коллектора. Траверса чаще всего крепится к подшипниковому щиту. Пальцы электрически изолируются от траверсы (иногда сами пальцы выполняются из изоляционного материала). Количество пальцев обычно равно числу главных полюсов машины. На каждом пальце крепится комплект щеткодержателей. Показанный на рисунке сдвоенный щеткодержатель состоит из обоймы *4*, куда помещают щетки *3*, курков *7*, передающих давление пружин *8* на щетки, и зажима *5* для крепления щеткодержателя на пальце.

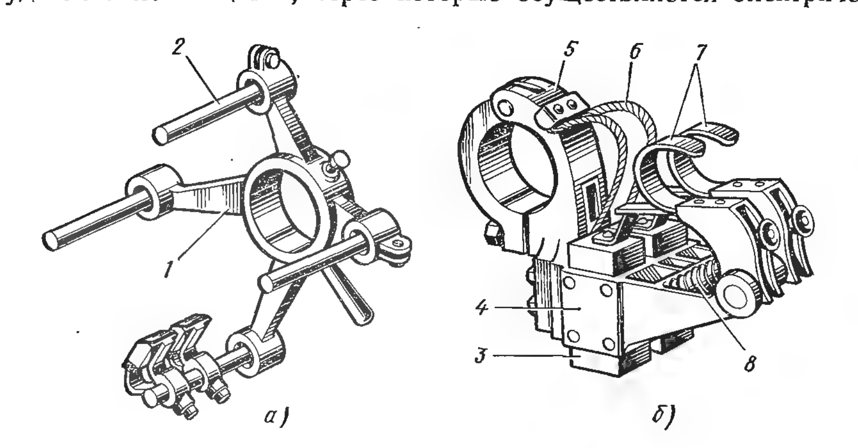


Рис. 42. Щеточное устройство коллекторной машины:
а — траверса с пальцами (бракетами), *б* — сдвоенный щеткодержатель; *1* — траверса, *2* — палец, *3* — щетка, *4* — обойма, *5* — зажим, *6* — гибкий токоведущий провод щетки, *7* — курки, *8* — пружина

Щеткодержатели одной и той же полярности («+» или «—») соединяют между собой сборными шинами, подключенными к выводам машины. Коробка выводов располагается, как правило, на станине, а выводы в ней маркируются следующим образом: Я1 и Я2 — обмотка якоря, Д1 и Д2 — обмотка дополнительных полюсов, К1 и К2 — компенсационная обмотка, С1 и С2 — последовательная обмотка возбуждения, Ш1 и Ш2 — шунтовая обмотка возбуждения. Цифрой 1 обозначают начало обмотки, а цифрой 2 — конец.

Для улучшения охлаждения большинство машин снабжено вентилятором. Обычно охлаждающий воздух засасывается со стороны коллектора, проходит внутри машины в осевом направлении и выбрасывается из машины через вентиляционную решетку цент-

робежным вентилятором, насаженным на вал с противоположной от коллектора стороны.

Заводами отечественной электротехнической промышленности коллекторные машины выпускаются в основном в виде серий, имеющих определенное назначение.

Единая серия П машин постоянного тока включает в себя машины общепромышленного применения — электродвигатели и гене-

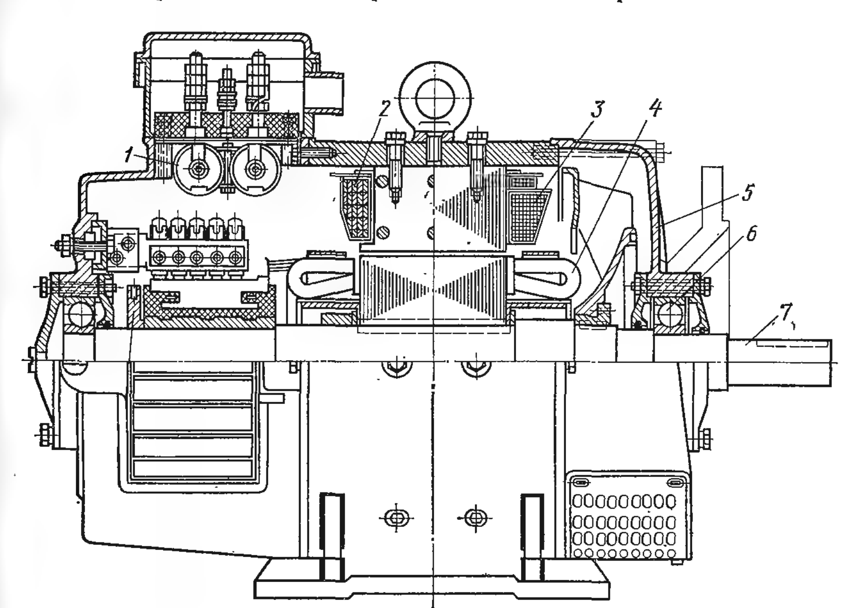


Рис. 43. Машина постоянного тока П-52:
1 — конденсатор помехоподавляющего устройства, 2 — добавочный полюс, 3 — главный полюс, 4 — обмотка якоря, 5 — подшипниковый щит, 6 — подшипник, 7 — вал

раторы. Тип машины обозначается так: П — наименование серии, первое однозначное или двузначное число после буквы — порядковый номер габарита (всего в серии 28 габаритов), последнее однозначное число (1 или 2) — номер длины сердечника. Например, обозначение П41 относится к машине постоянного тока серии П, 4-го габарита и первой длины.

В электроремонтных мастерских приходится иметь дело с машинами этой серии главным образом от 1-го до 11-го габаритов (наружный диаметр якоря от 83 до 368 мм), причем в каждом габарите предусмотрено два типоразмера, отличающихся длиной (первая и вторая длина). В указанную группу машин входят электродвигатели мощностью от 0,13 до 200 кВт на напряжения 110, 220 и 440 В с частотами вращения 600, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин, а также генераторы мощностью от 0,37 до 190 кВт на напряжения 115, 230 и 460 В с частотами вращения 980, 1450 и 2850 об/мин.

Электродвигатели имеют параллельную (шунтовую) и небольшую стабилизирующую последовательную (сериесную) обмотки возбуждения, что обеспечивает при работе машины стабильную величину главного магнитного потока и сравнительно небольшие изменения частоты вращения в достаточно широком диапазоне нагрузок. Генераторы рассматриваемой группы машин серии П выполняются с шунтовым или компаундным возбуждением, обеспечивающим достаточно стабильное напряжение генератора при изменении нагрузки от номинальной до холостого хода.

Машины единой серии П с 1-го по 3-й габарит изготовляют с двумя главными и одним дополнительным, а с 4-го по 11-й габарит — с четырьмя главными и четырьмя дополнительными полюсами. Коллекторы у машин от 2-го до 6-го габарита — на пластмассе, а у машин с 7-го по 11-й габарит — арочного типа. По способу монтажа машины серии П с 1-го по 11-й габарит могут быть как горизонтального (на лапах, или с фланцем на подшипниковом щите), так и вертикального исполнения, причем обычно они имеют один свободный конец вала со стороны, противоположной коллектору.

На рис. 43 показана конструкция типичной для единой серии П машины П52. На средней части вала 7 размещен сердечник якоря, имеющий полузакрытые пазы, в которые укладывают всыпную обмотку якоря, выполненную из изолированного медного провода круглого сечения. По торцам сердечника якоря поставлены листы из изоляционного материала, которые также имеют пазы. Эти листы предохраняют изоляцию проводов якорной обмотки от повреждения об острые кромки в месте выхода проводов из паза. Сердечник якоря спрессован между двумя нажимными шайбами, наружные края которых отогнуты и служат в качестве обмоткодержателей, поддерживающих лобовые части якорной обмотки. Со стороны привода нажимная шайба сердечника якоря упирается в бортик вала, а со стороны коллектора — в специальную втулку. Коллектор машины выполнен на пластмассе. Обмотка якоря в пазах удерживается клиньями, а лобовые части ее закреплены проволочными бандажами.

Вентиляция машины осуществляется с помощью насаженного на вал литого алюминиевого вентилятора, в осевое отверстие которого залита стальная втулка, крепящаяся на валу шпонкой. Воздух засасывается через жалюзи в крышках коллекторных люков и, проходя через машину, омывает и охлаждает коллектор, наружную поверхность якоря, полюса, а затем выбрасывается вентилятором через нижнее отверстие подшипникового щита *5*, закрытое штампованной сеткой. Балансировка якоря осуществляется балансировочными грузами, которые крепятся на вентиляторе, а также путем сверления радиальных отверстий на специально предусмотренном для этого балансировочном кольце.

Наружное кольцо шарикоподшипника, расположенного со стороны коллектора, зажато крышками. Подшипник фиксирует положение якоря в машине и воспринимает осевые нагрузки. В тор-

це крышки имеется отверстие для присоединения валика тахометра, закрываемое винтом. Между кольцом шарикоподшипника, расположенного со стороны привода, и крышками оставлены зазоры для компенсации температурного расширения вала.

Траверса токосъемного устройства вставлена в кольцевую выточку на подшипниковом щите и притянута к нему болтами. Освободив гайки этих болтов, можно поворачивать траверсу и устанавливать щетки на нейтрали. Текстолитовые пальцы щеткодержателей крепятся к траверсе болтами.

Станина машины представляет собой стальную трубу с приваренными к ней лапами. По краям станины сделаны наружные кольцевые проточки, которые центрируют подшипниковые щиты при их установке. Главные *3* и дополнительные *2* полюса закреплены на станине болтами. Сердечники полюсов шихтованные, причем у главных полюсов листы пакета расположены в поперечном направлении, а у дополнительных — в продольном. На главный полюс надета катушка шунтовой обмотки возбуждения, а сверху — небольшая катушка сериесной обмотки. Листы сердечника дополнительного полюса имеют выступы, на которые опирается катушка.

Коробка выводов расположена в верхней части станины и закрыта снаружи штампованной крышкой. Внутри коробки расположен щиток зажимов с контактными болтами, к которым подключены выводы обмоток машины. Под дощечкой зажимов закреплены конденсаторы *1*, которые предназначены для снижения радиопомех.

Новая единая серия машин постоянного тока 2П предназначена для замены серии П. Машины новой единой серии обладают существенными преимуществами: меньшими размерами и массой, более широкими пределами регулирования частоты вращения двигателей, пониженными шумом и вибрацией, почти вдвое бóльшим сроком службы.

Серия 2П охватывает электродвигатели в диапазоне мощностей от 0,37 до 200 кВт с высотами осей вращения от 90 до 315 мм. Условное обозначение типа машины, например электродвигателя 2ПАТ90М, расшифровывается так: 2П — наименование серии; А — защищенное исполнение (Н — защищенное исполнение с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора, Б — закрытое исполнение с естественным охлаждением, О — закрытое исполнение с наружным обдувом от постороннего вентилятора); Т — исполнение с тахометром; 90 — высота оси вращения в мм; М — первая порядковая длина машины (L — вторая порядковая длина).

Внешнее оформление машин новой единой серии соответствует современным эстетическим требованиям. Цилиндрическая станина без сильно выступающих частей и плоские подшипниковые щиты упрощают и облегчают обслуживание машин при эксплуатации.

Машины единой серии 2П с высотами осей вращения 90 и 100 мм выполняются двухполюсными, с полным числом дополни-

тельных полюсов. Остальные машины этой серии — четырехполюсные.

В машинах закрытого исполнения (типов 2ПБ и 2ПО), а также во всех машинах с высотой оси вращения свыше 225 мм используется изоляция класса F. Машины защищенного исполнения (типов 2ПА и 2ПН) с высотой оси вращения до 225 мм имеют изоляцию класса B.

Кроме единых серий машин постоянного тока общепромышленного применения отечественная промышленность выпускает

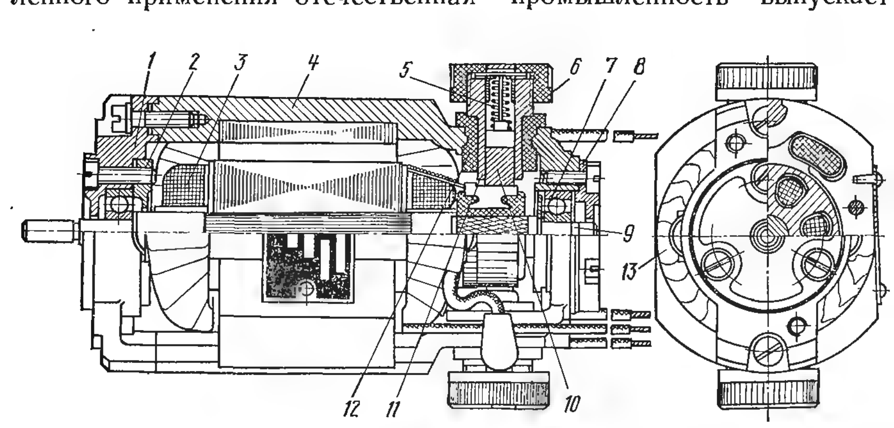


Рис. 44. Встраиваемый коллекторный двигатель серии УВ:

1 — задний подшипниковый щит, *2* и *8* — крышки подшипников, *3* — обмотка якоря, *4* — алюминиевая оболочка, *5* — пружина, *6* — колпачок, *7* — шарикоподшипник, *9* — пружинная шайба, *10* — щетка, *11* — обойма щеткодержателя, *12* — пластмассовая втулка, *13* — обмотка возбуждения

также серии машин постоянного тока специального назначения. Так, выпускаются электродвигатели постоянного тока серии ДП (ее называют также крановo-металлургической), предназначенные для установки на подъемных кранах и других подъемно-транспортных машинах, экскаваторах, а также для привода вспомогательных механизмов, используемых в металлургии. Изготовляются также серии тяговых электродвигателей постоянного тока, сварочных генераторов, возбудителей синхронных машин и др.

Коллекторные электродвигатели однофазного переменного тока за последние годы нашли широкое применение в различных переносных электроинструментах (электродрели, электрошлифовалки, электропилы и т. п.), а также во многих бытовых машинах (пылесосы, полотеры и др.). При мощности от нескольких десятков ватт до 2—3 кВт высокооборотные (до 25 000 об/мин) коллекторные двигатели переменного тока на частоту сети 50 Гц получаются достаточно надежными и более легкими, чем асинхронные короткозамкнутые двигатели, что имеет первостепенное значение для переносных электрифицированных машин. Промышленностью выпускаются также универсальные коллекторные двигатели,

которые могут работать как на переменном, так и на постоянном токе (при этом переключается обмотка возбуждения).

На рис. 44 показана конструкция встраиваемого универсального коллекторного двигателя серии УВ. Сердечник статора такого двигателя представляет собой пакет, набранный из выштампованных тонких листов электротехнической стали. Форма листов такова, что собранный пакет снаружи представляет собой срезанный цилиндр с двумя гранями, а внутри пакета образуются два выступа — полюса, между которыми имеется цилиндрическое отверстие для якоря. Спрессованный пакет заливается под давлением в алюминиевую наружную оболочку *4,* причем заодно с оболочкой отливаются ее торцевые кольца, фиксирующие положение пакета, стержни, стягивающие его листы (для заливки стержней в листах пакета статора выштампованы круглые отверстия), а также передний (со стороны коллектора) подшипниковый щит. Задний (со стороны привода) подшипниковый щит *1,* также алюминиевый, отливается и обрабатывается отдельно. Он крепится к статору двумя винтами.

Катушки сериесной обмотки возбуждения *13* надеты на полюса и закреплены здесь штампованными скобами.

Сердечник якоря двигателя, также спрессованный из тонких штампованных стальных листов, имеет полузакрытые пазы, изолированные гильзами из электрокартона. В пазы уложена якорная обмотка *3,* выполненная из круглого медного провода с эмалевой изоляцией. Концы секций якорной обмотки припаяны к петушкам коллекторных пластин. Электродвигатель снабжен коллектором на пластмассе. В переднем подшипниковом щите над коллектором жестко закреплены два щеткодержателя, электрически изолированные от щита пластмассовыми втулками *12.* Щеткодержатель имеет обойму из цинкового сплава. В обойму вставлена щетка *10,* которая прижимается к коллектору пружиной *5.* На обойму навернут пластмассовый колпачок *6.*

Вал электродвигателя вращается в двух шарикоподшипниках, причем подшипник со стороны привода — радиальный, а со стороны коллектора — радиально-упорный.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют электрические машины по назначению, устройству, исполнению, роду тока, напряжению?
2. Расскажите об устройстве асинхронных машин с короткозамкнутым и фазным роторами.
3. В каких случаях применяются асинхронные двигатели повышенной частоты и каковы особенности их конструкции?
4. Расскажите об устройстве асинхронного преобразователя частоты.
5. Как устроены синхронные машины с явнополюсным и неявнополюсным роторами?
6. Расскажите об устройстве коллекторных машин постоянного и переменного тока.

ГЛАВА III

ПРОВОДНИКОВЫЕ И МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 11. Обмоточные провода

Основным материалом для изготовления обмоток электрических машин и трансформаторов служат обмоточные провода, обычно имеющие токопроводящую часть из меди или алюминия и наружную изоляцию из эмали, волокнистых материалов (хлопчатобумажных, шелковых и других нитей), бумажной ленты или их комбинации. Используют также голые обмоточные провода, на которые изоляцию наносят в процессе выполнения обмоточных работ. Их применяют главным образом при выполнении обмоток крупных специальных электрических машин и трансформаторов.

Обмоточные провода изготовляют стандартных размеров; они могут иметь круглое, прямоугольное или фасонное сечение. Для специальных машин, например высокочастотных, изготовляют обмоточные провода, скрученные из тонких проволок и опрессованные в прямоугольное или другой формы сечение.

Проводниковые материалы, применяемые в обмоточных проводах, должны иметь малое удельное электрическое сопротивление, достаточную механическую прочность и химическую стойкость, а также не быть чрезмерно дорогими. Серебро, имеющее наименьшее удельное сопротивление, не применяется именно из-за своей дороговизны. Медь, несколько уступая серебру по удельному сопротивлению, является сравнительно недорогим металлом, обладает достаточной механической прочностью и химической стойкостью, а поэтому чаще всего используется в обмоточных проводах.

Удельное сопротивление меди существенно возрастает при наличии в ней примесей, особенно сурьмы и висмута, поэтому для обмоточных проводов используют чистую электролитическую медь, которая содержит примесей не более 0,1%. При холодной прокатке меди она становится более твердой и прочной, но одновременно возрастает ее удельное сопротивление. Отжиг меди в этом случае восстанавливает ее первоначальные свойства — после отжига медь становится более мягкой, а ее удельное сопротивление снижается до первоначального значения.

В последние годы в обмоточных проводах наряду с медью используется алюминий. Удельное сопротивление алюминия примерно на $^1/_3$ больше, чем у меди. Механические свойства алюминия несколько хуже — он более «ломкий». Однако алюминий легче и дешевле меди, а главное, менее дефицитен.

В современном электромашиностроении и трансформаторостроении применяются обмоточные провода различных марок, число которых постоянно растет в связи с повышением требований к качеству изготовляемых электрических машин и трансформаторов, а также стремлением упростить технологию их изготовления. Это заставляет искать новые, более прочные, теплостойкие и дешевые изоляционные материалы для обмоточных проводов. Провода с во-

Таблица 1. **Характеристика некоторых видов часто применяемых обмоточных проводов**

Марка	Общая характеристика	Нагревостойкость, °C	Размеры (без изоляции), мм
ПЭЛ	Медный, эмалированный, лакостойкий	105	∅0,02—2,44
ПЭА	То же, но алюминиевый	105	∅0,09—0,55
ПЭВ-1	Медный, изолированный высокопрочной эмалью «винифлекс»	110	∅0,02—2,44
ПЭВА-1	То же, но алюминиевый	110	∅0,57—2,44
ПЭВ-2	Медный, изолированный утолщенным слоем высокопрочной эмали «винифлекс»	110	∅0,02—2,44
ПЭВА-2	То же, но алюминиевый	110	∅0,57—2,44
ПЭВТЛ-1	Медный, изолированный высокопрочной полиуретановой эмалью	120	∅0,06—1,56
ПЭВТЛ-2	То же, но с утолщенной изоляцией	120	∅0,06—1,56
ПЭТВ	Медный, изолированный высокопрочной теплостойкой эмалью на основе полиэфиров (полиэтилентерефталат)	130	∅0,06—2,44
ПЭТ-155	Медный, изолированный полиэфирным лаком	155	∅0,06—2,44
ПЭВП	Медный, изолированный высокопрочной эмалью «винифлекс», прямоугольный	110	(0,5—2,83)×(2,1—8,8)
ПЭТВП	Медный, изолированный высокопрочной теплостойкой эмалью, прямоугольный	130	(0,5—1,95)×(21—8,8)
ПЭВД	Медный, изолированный высокопрочной эмалью «винифлекс» с дополнительным термопластичным покрытием, склеивающимся при нагреве до 140—160°C	110	∅0,2—0,5
ПЭЛШО	Медный, изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем нитей из натурального шелка	105	∅0,05—1,56
ПЭЛЛО	Медный, изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем лавсановых нитей	105	∅0,05—1,30
ПЭВЛО	Медный, изолированный высокопрочной эмалью «винифлекс» и одним слоем лавсановых нитей	105	∅0,06—1,30
ПЭЛБО	Медный, изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем хлопчатобумажной пряжи	105	∅0,38—2,10
ПСД	Медный, изолированный двумя слоями бесщелочного стекловолокна с подклейкой и пропиткой нагревостойким лаком	155	∅0,31—5,2; (0,9—5,5)×(2,1—12,5)
ПСД-Л	То же, но с поверхностным лаковым покрытием	155	∅0,31—5,2; (0,9—5,5)×(2,1—12,5)
ПСДТ-Л	То же, но с более тонкой изоляцией	155	∅0,31—2,1

Марка	Общая характеристика	Нагревостойкость, °С	Размеры (без изоляции), мм
ПБД	Медный, изолированный двумя слоями нитей из хлопчатобумажной пряжи	105	∅0,38—5,2; (0,9—5,6)×(2,1—15)
АПБД	То же, но алюминиевый	105	∅1,35—8; (1,18—7)×(4,1—18)
ПСДК	Медный, изолированный двумя слоями бесщелочного стекловолокна с подклейкой и пропиткой кремнийорганическим лаком	180	∅0,31—5,2; (0,9—5,5)×(2,1—12,5)
ПСДКТ	То же, но с более тонкой изоляцией	180	∅0,31—2,1; (0,9—3,53)×(2,1—10)
ПДА	Медный, изолированный одним слоем асбестового волокна (дельта-асбестовой ровницы), подклеенного к меди и пропитанного нагревостойким лаком	155	∅1,81—4,8; (1,16—5,1)×(4,1—7,4)
ПБ	Медный, изолированный лентами кабельной или телефонной бумаги	105	∅1,2—5,2; (1—5,6)×(3—19,5)
АПБ	То же, но алюминиевый	105	∅1,35—8; (1,81—7)×(4,1—18)
ПБУ	Медный, изолированный лентами кабельной высоковольтной уплотненной бумаги	105	(1,8—5,6)×(6,7—19,5)
АПБУ	То же, но алюминиевый	105	(1,81—5,5)×(6,9—22)

локнистой изоляцией из хлопчатобумажной пряжи, ранее повсеместно применявшиеся для изготовления обмоток электрических машин и трансформаторов, в настоящее время почти полностью вытеснены обмоточными проводами с изоляцией из высокопрочной и теплостойкой эмали, тонкой бумажной ленты и др. Например, толщина теплостойкой эмалевой изоляции в 2—3 раза меньше, а теплопроводность тонкого слоя эмали существенно больше, чем у волокнистой изоляции. Поэтому в пазах электрических машин или в соответствующих окнах сердечников трансформаторов могут быть размещены обмотки из провода, имеющего бóльшую площадь поперечного сечения меди, да и плотность тока может быть увеличена, так как теплостойкая эмаль допускает более высокий нагрев. Все это дает возможность либо увеличить мощность при неизменных габаритах и массе электрической машины или трансформатора, либо существенно снизить габариты, массу и стоимость при той же мощности.

В обозначения марок медных обмоточных проводов обычно входят начальные буквы названий материалов, составляющих изоляцию провода, а также могут входить буквы и цифры, показывающие число слоев изоляции. В обозначения марок алюминиевых проводов добавляется буква А.

В табл. 1 приведены основные характеристики обмоточных проводов, наиболее широко применяемых в практике ремонта электрических машин и трансформаторов.

В последние годы в нашей стране и за рубежом в качестве проводникового материала для обмоток трансформаторов мощностью до 630 кВ·А широко применяют медную и алюминиевую фольгу и ленту. Это позволяет повысить коэффициент заполнения объема обмотки проводниковым материалом, что дает возможность уменьшить габариты, массу и стоимость трансформатора.

Медную фольгу изготовляют из меди марки не ниже М1 с удельным электрическим сопротивлением не более 0,180 мкОм·м и с допуском по толщине ±3%. Толщина фольги 0,035—0,065 мм, ширина рулона 700, 850 и 1000 мм. Ленту изготовляют толщиной 0,100; 0,080; 0,075; 0,05 и 0,035 мм.

Алюминиевая фольга и лента, предназначенная для обмоток трансформаторов, изготовляются из алюминия марки АЕ с удельным электрическим сопротивлением не более 0,028 мкОм·м. Толщина фольги 0,02—0,2 мм, толщина ленты 0,22—2 мм.

§ 12. Установочные провода и шины

Для выводных концов медных обмоток электрических машин и трансформаторов обычно используют специальные установочные провода, имеющие медную гибкую многопроволочную токопроводящую часть (жилу) и надежную многослойную изоляцию. Широко используют здесь провода следующих марок:

ПРГ — провод с резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом; изготовляют с сечением жилы от 0,75 до 400 мм^2; применяют в машинах и трансформаторах с нагревостойкостью изоляции до 105°С;

ПВБЛ — провод с изоляцией из резины на основе бутилкаучука, в оплетке из лавсанового волокна; поверх жилы может иметь полиэтилтерефталатную пленку толщиной до 0,02 мм; под оплеткой или поверх оплетки может иметь оболочку из прорезиненной ткани; изготовляют с сечением жилы от 2,5 до 50 мм^2; применяют в электрических машинах и трансформаторах с нагревостойкостью изоляции до 105°С;

ПВСНК — провод с изоляцией из резиностеклоткани в оболочке из резины на основе маслостойкого нитрильного каучука; поверх жилы может иметь полиэтилтерефталатную пленку толщиной до 0,02 мм; изготовляют с сечением жилы от 2,5 до 70 мм^2; применяют в машинах и трансформаторах с нагревостойкостью до 130°С;

РКГМ — провод с изоляцией из кремнийорганической резины, в оплетке из стекловолокна, пропитанной эмалью или термостойким лаком; изготовляют с сечением жилы от 0,75 до 120 мм^2;

применяют в машинах и трансформаторах с нагревостойкостью изоляции до 180°С;

ЛПЛ — провод с изоляцией из шелковой лакоткани в лакированной оплетке; изготовляют с сечением жилы от 0,5 до 6 мм^2; применяют при температуре до 105°С;

ПТЛ-200 — провод с многопроволочной жилой из луженых проволок, с изоляцией из нескольких слоев пленки фторопласта-4, поверх пленки — лакированная защитная оболочка из стеклонити; изготовляют с сечением жилы от 0,35 до 70 мм^2; применяют при температуре до 200°С. При нагреве свыше 250°С и при сжигании фторопластовая изоляция выделяет токсичные газы.

В электрических машинах и силовых трансформаторах, имеющих обмотки из алюминиевых проводов, используют, как правило, установочные провода с алюминиевыми жилами.

При ремонтах обмоток электрических машин и силовых трансформаторов зачастую используются медные или алюминиевые шины как прямоугольного, так и круглого сечения. В табл. 2 приведены стандартные размеры и масса шин.

Таблица 2. **Размеры и масса шин**

Размеры, мм	Масса 1 м, кг		Размеры, мм	Масса 1 м, кг	
	медных	алюминиевых		медных	алюминиевых
Плоские					
10×3	0,29	0,08	30×5	1,34	0,4
12×3	0,32	0,1	40×5	1,78	0,54
15×3	0,4	0,12	50×5	2,25	0,68
20×3	0,53	0,16	60×5	2,67	0,81
25×3	0,67	0,2	80×5	2,84	0,86
30×3	0,8	0,24	50×6	2,67	0,81
40×3	1,07	0,32	60×6	3,2	0,97
10×4	0,37	0,11	80×6	4,27	1,3
12×4	0,43	1,13	100×6	5,34	1,62
15×4	0,53	0,18	60×8	4,27	1,3
20×4	0,7	1,22	80×8	5,7	1,73
25×4	0,89	0,27	100×8	7,12	2,16
30×4	1,07	0,32	120×8	8,54	2,6
40×4	1,42	0,43	80×10	7,12	2,16
			100×10	8,9	2,7
			120×10	10,68	3,24
			120×12	12,8	3,88
Круглые					
⌀6	0,25	0,08	⌀ 12	1,02	0,31
⌀8	0,45	0,14	⌀ 16	1,81	0,54
⌀10	0,71	0,21	⌀ 20	2,82	0,85

§ 13. Коллекторная медь. Электроугольные изделия (щетки)

Коллекторные пластины коллекторов машин постоянного и переменного тока изготовляют из твердотянутых медных полос специального профиля. Полосы коллекторной меди обычно поставляют длиной 1,5 м и более с широким диапазоном стандартных сечений. Профиль коллекторной меди (т. е. форма поперечного сечения) выполнен с таким расчетом, чтобы изготовленные из нее коллекторные пластины при сборке образовали круглый коллектор.

В последние годы для изготовления коллекторных пластин применяют медь с присадкой кадмия, который увеличивает механическую прочность меди и способствует уменьшению искрения при работе коллектора.

Щетки применяют для подвода и отвода тока на коллекторах и контактных кольцах электрических машин. Основными материалами для изготовления щеток являются графит, уголь, сажа,

Таблица 3. **Характеристика некоторых марок щеток для электрических машин**

Марка щеток	Плотность тока, А/см²	Переходное падение напряжения, В	Удельное нажатие, Н/см²	Окружная скорость, м/с	Область применения
Т2, Т6	6	2	2—2,5	10	Для больших машин (свыше 200 кВт) при напряжении до 1000 В и спокойной нагрузке (средние условия коммутации)
Г1	7	2,2	2—2,5	12	Для небольших машин (до 10 кВт) при напряжении до 500 В и спокойной нагрузке (облегченные условия коммутации)
Г3	11	1,9	2—2,5	25	
611М	12	2	2—2,5	40	
ЭГ4	12	2	1,5—2	40	Для машин мощностью от 10 до 200 кВт и более при напряжении до 1000 В и средних или затрудненных условиях коммутации, а также для контактных колец
ЭГ8	10	2,4	2—4	40	
ЭГ71	12	2,2	2—2,5	40	
ЭГ74	15	2,7	1,75—2,5	50	
М1	15	1,5	1,5—2	25	Для низковольтных (до 48 В) генераторов и контактных колец
М3	12	1,8	1,5—2	20	
М6	15	1,5	1,5—2	25	
М20	12	1,4	1,5—2	20	Для низковольтных (до 48 В) генераторов и контактных колец
МГ	20	0,2	1,8—2,3	20	
МГ2	20	0,5	1,8—2,3	20	
МГ4	15	1,1	2—2,5	20	
МГ64	25	0,5	1,5—2	25	
МГС5	15	2	2—2,5	35	

кокс, смола, порошок меди. Щетки должны обладать достаточно высокими электрической проводимостью и теплопроводностью, а также хорошей химической стойкостью.

Изготовляемые щетки разделяют на 4 группы: угольно-графитные (Т), графитные (Г), электрографитированные (ЭГ), медно-графитные (М, МГ, МГС). В зависимости от состава материала щеток и технологии их изготовления они имеют различные характеристики. Кроме того, щетки имеют различные стандартные размеры.

Правильный выбор марки щеток имеет большое значение, так как от этого в значительной мере зависит надежность работы электрической машины, особенно коллекторной.

Характеристики некоторых часто употребляемых марок щеток и области их применения приведены в табл. 3.

§ 14. Припои и флюсы

Для соединения медных или алюминиевых проводников пайкой служат специальные металлические составы — припои, которые в зависимости от температуры плавления и механической прочности делятся на легкоплавкие (мягкие) и тугоплавкие (твердые). Находясь в расплавленном, жидком состоянии, припой при пайке смачивает поверхности соединяемых проводников, заполняет все поры в месте соединения и проникает (диффундирует) в спаиваемые между собой проводники. После остывания припоя между проводниками образуется промежуточная соединяющая прослойка.

К легкоплавким мягким припоям относятся оловянно-свинцовые сплавы, содержащие помимо олова и свинца также сурьму. Эти припои обеспечивают хороший электрический контакт между соединяемыми проводниками, но механическая прочность соединений невелика. В табл. 4 приведены характеристики некоторых часто применяемых в ремонтной практике мягких припоев.

К тугоплавким и твердым относятся серебряные, медно-цинковые и медно-фосфористые припои. Твердые припои обеспечивают высокую механическую прочность пайки. Характеристики некоторых из них приведены в табл. 5.

Для очистки соединяемых пайкой (а также и сваркой) поверхностей от окислов и загрязнений, а также для предотвращения окисления этих поверхностей и припоя в процессе пайки служат особые вещества — флюсы. Флюсы обладают свойством в расплавленном состоянии растворять окислы металлов, а также улучшать смачиваемость расплавленным припоем соединяемых пайкой поверхностей. Флюсы обеспечивают надежность и прочность пайки.

При пайке и лужении оловянно-свинцовыми припоями медных токопроводящих частей в качестве флюса применяют твердую канифоль, а также растворенную в бензине или этиловом спирте.

Таблица 4. **Характеристика некоторых мягких припоев**

Марка	Состав, % по массе	Температура плавления, °С	Разрушающее напряжение при растяжении, Н/см²	Область применения
ПОС-90	Олово — 90, сурьма — до 0,15, примеси — до 0,23, свинец — остальное	222	43	Пайка медных проводов обмоток и коллекторов, когда необходимы повышенная электрическая проводимость и жидкотекучесть припоя
ПОС-61	Олово — 61, сурьма — до 0,8, примеси — до 0,25, свинец — остальное	230	60—70	Пайка медных проводов малого сечения и коллекторов
ПОС-40	Олово — 40, сурьма — 2,0, примеси — до 0,25, свинец — остальное	235	32	Пайка медных проводов обмоток
ПОС-30	Олово — 30, сурьма — до 2,0, примеси — до 0,3, свинец — остальное	256	33	Пайка наконечников и жил медных проводов при малых плотностях тока
ПОС-18	Олово — 18, сурьма — до 2,5, примеси — до 0,3, свинец — остальное	277	28	То же
ПСр-2	Серебро — 2, олово — 30, кадмий — 5, свинец — остальное	235	38	Пайка изделий из меди, латуни, бронзы и стали
ПСр-2,5	Серебро — 2,5, олово — 5,5, свинец — остальное	305	36	Пайка деталей из меди, латуни, бронзы
ПОССр-15	Олово — 15, цинк — 0,6, серебро — 1,25, свинец — остальное	276	—	То же
Авиа-1	Олово — 55, кадмий — 20, цинк — 25	200	70	Пайка алюминия
Авиа-2	Олово — 40, кадмий — 20, цинк — 25, алюминий — 15	250	72	Пайка алюминия при необходимости повышенной жидкотекучести припоя

При пользовании серебряными и медно-фосфорными твердыми припоями в качестве флюса применяют прокаленную буру в порошке. Порошок буры гигроскопичен, поэтому его следует хранить в стеклянной банке с притертой пробкой.

Состав и области применения некоторых сложных флюсов, используемых при пайке твердыми припоями, приведены в табл. 6. Состав некоторых распространенных флюсов, применяемых для пайки алюминиевых проводов, приведен в табл. 7.

§ 15. Электротехнические стали

Сердечники магнитопроводов электрических машин и трансформаторов сделаны, как правило, из листовой электротехничес-

Таблица 5. **Характеристика некоторых твердых припоев**

Марка	Состав, % по массе	Температура плавления, °C	Разрушающее напряжение при растяжении, Н/см²	Область применения
ПМЦ-36	Медь — 36, цинк — остальное	825	200	Пайка латуни и бронзы; температура пайки 950°C
ПМЦ-54	Медь — 54, цинк — остальное	880	260	Пайка латуни, бронзы, стали; температура пайки 970°C
ПСр-70	Серебро — 70, цинк — 4, медь — остальное	730	350	Пайка особо ответственных обмоток из меди при необходимости обеспечить высокую электрическую проводимость пайки; пайка латуни, платины, вольфрама; температура пайки 755°C
ПСр-45	Серебро — 45, цинк — 25, медь — остальное	720	300	То же, что ПСр-70, и дополнительно пайка изделий из нержавеющей стали; температура пайки 780°C
МФ-1	Фосфор — 8,5—10, медь — остальное	725—850	180	Пайка медных обмоток роторов, статоров, отводов трансформаторов

Таблица 6. **Некоторые виды флюсов для пайки твердыми припоями**

Состав, % по массе	Область применения
Бура прокаленная	Для пайки медных проводов и стержней. Остатки флюса должны удаляться
Бура плавленая-21, борный ангидрид-65, фтористый кальций-14	Для пайки медных проводов и стержней медными припоями
Борный ангидрид-35, фтористый калий-42, фтороборат калия-23	То же, но при пайке серебряными припоями
Бура-58, борная кислота-40, хлористый кальций-2	Для пайки медных стержней серебряными и медно-цинковыми припоями

Таблица 7. **Состав некоторых флюсов для пайки алюминиевых проводов**

Марка	Состав, % по массе					
	хлористый калий	хлористый натрий	хлористый барий	хлористый литий	фтористый натрий	креолит марки К-1
КМ-1	45	20	20	—	15	—
АФ-4А	50	28	—	14	8	—
ВАМИ	50	30	—	—	—	20

Примечание. Указанные в таблице флюсы приготовляют в виде пасты густой консистенции, для чего в 100 г порошкообразного флюса вливают 30—35 г воды.

кой стали. Тонколистовая электротехническая сталь изготовляется в виде рулонов, листов и резаной ленты. Выпускают более 30 марок электротехнической стали. По виду прокатки и структурного состояния электротехнические стали разделяются на три класса: 1 — горячекатаная изотропная (имеющая магнитные свойства одинаковые во всех направлениях); 2 — холоднокатаная изотропная; 3 — холоднокатаная анизотропная (имеющая разные магнитные свойства в зависимости от направления намагничивания).

Для улучшения свойств электротехнической стали в ее состав вводят кремний. По содержанию кремния электротехнические стали делятся на шесть групп: группа 0 с содержанием кремния до 0,4% (нелегированная сталь); группа 1 с содержанием кремния от 0,4 до 0,8%; группа 2, содержащая от 0,8 до 1,8% кремния; группа 3, где кремния содержится от 1,8 до 2,8%; группа 4 с содержанием кремния от 2,8 до 3,8; группа 5 с содержанием кремния от 3,8 до 4,8%. Стали с более высоким содержанием кремния имеют меньшие потери на вихревые токи и гистерезис, а также высокую магнитную проницаемость в слабых и средних магнитных полях. Для сталей с низким содержанием кремния характерны более высокие потери энергии при перемагничивании, но они имеют более высокую индукцию насыщения.

В зависимости от того, какая характеристика стали нормируется, электротехнические стали делятся на пять групп: для групп 0 нормируются удельные потери при магнитной индукции 1,7 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц; для группы 1 — удельные потери при индукции 1,5 Тл и той же частоте перемагничивания; у группы 2 нормируются удельные потери при индукции 1 Тл и частоте 400 Гц; для группы 6 нормируется индукция в слабом магнитном поле (при напряженности 0,4 А/м); у группы 7 нормируется индукция в средних магнитных полях при напряженности поля 10 А/м.

Обозначение марки листовой электротехнической стали содержит четыре цифры. Первая из них указывает класс по виду прокатки и структурного состояния. Вторая цифра указывает содержание кремния. Третья — группу по основной нормируемой характеристике стали. Три первые цифры в обозначении марки означают тип стали, а четвертая — порядковый номер типа.

Выпускается листовая электротехническая сталь толщиной от 0,1 до 1 мм (по шкале стандартных толщин).

Магнитные свойства сталей обычно характеризуются кривыми намагничивания или соответствующими таблицами. Потери энергии в стали при перемагничивании характеризуются удельными потерями, т. е. мощностью потерь, приходящейся на 1 кг стали при определенной частоте перемагничивания, например 50 Гц, и синусоидальном напряжении.

Листовая электротехническая сталь выпускается как с электроизоляционным покрытием (термостойким или нетермостойким), так и без него.

Для изготовления сердечников магнитопроводов электрических машин небольшой и средней мощности пока чаще используется горячекатаная электротехническая сталь.

Магнитопроводы трансформаторов в настоящее время изготовляются только из холоднокатаной электротехнической стали, которая отличается от горячекатаной меньшими удельными потерями и повышенной магнитной проницаемостью. Применение холоднокатаной электротехнической стали дало возможность повысить энергетические показатели выпускаемых трансформаторов (кпд и cosφ), а также уменьшить их массу и габариты.

Контрольные вопросы

1. Назовите марки обмоточных и установочных проводов и укажите области их применения.
2. Назовите области применения мягких и твердых припоев. В чем разница между ними?
3. Для чего служат флюсы при пайке? Какой флюс обычно используется при пайке медных проводов мягкими припоями?
4. Какие классы листовой электротехнической стали вы знаете? В чем разница между ними? Какова область применения каждого из этих классов стали?
5. Как маркируется электротехническая листовая сталь? Что означают цифры в обозначении марки стали?
6. Почему при изготовлении магнитопроводов трансформаторов отдается предпочтение холоднокатаной стали?

ГЛАВА IV
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 16. Назначение и классификация электроизоляционных материалов

Электроизоляционными материалами (диэлектриками) осуществляется электрическая изоляция элементов или частей электрооборудования, находящихся под электрическим напряжением. По сравнению с проводниковыми материалами (проводниками) диэлектрики обладают значительно (во много тысяч раз) бо́льшим электрическим сопротивлением, т. е. практически не пропускают электрический ток.

По своему агрегатному состоянию диэлектрики разделяются на твердые, жидкие и газообразные. Многочисленную группу твердых диэлектриков обычно делят на ряд подгрупп в зависимости от химического состава, структуры и других особенностей.

Электроизоляционные материалы сохраняют свои изоляционные свойства и в достаточно сильных электрических полях, т. е. обладают диэлектрической прочностью. Однако при напряженности электрического поля, превосходящей предел электрической прочности диэлектрика, наступает пробой, т. е. разрушение диэлектрика, в результате чего он теряет электроизоляционные свойства в месте пробоя. Напряжение, при котором происходит

Таблица 8. **Нагревостойкость электроизоляционных материалов (ГОСТ 8865—70)**

Класс нагревостойкости	Температура, град*	Характеристика электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости**
У	90	Непропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
А	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
Е	120	Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
В	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
Н	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
С	Более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементоорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов

* Указанные в таблице температуры являются предельно допустимыми для электроизоляционных материалов при их длительном использовании (в течение ряда лет) в электрических машинах, трансформаторах и аппаратах, работающих в нормальных эксплуатационных условиях.

Температуры в наиболее нагретом месте изоляции не должны превышать указанных предельно допустимых температур при работе электрооборудования в номинальном режиме при предусмотренной для этого режима максимальной температуре охлаждающей среды, указанной в соответствующих ГОСТ или ТУ.

** С электроизоляционными материалами данного класса допускается совместное применение материалов предшествующих классов при условии, что под действием температуры, допускаемой для материалов более высокого класса, электрические и механические свойства комплексной изоляции не должны претерпевать изменений, могущих сделать изоляцию непригодной для длительной работы.

пробой диэлектрика, называют *пробивным*, а соответствующее значение напряженности электрического поля — *электрической прочностью диэлектрика.*

По своему химическому составу диэлектрики делятся на органические и неорганические. Наибольшей нагревостойкостью, т. е. способностью сохранять электроизоляционные свойства при

нагреве, обладают неорганические диэлектрики (слюда, асбест и др.).

Электроизоляционные материалы помимо электрической прочности должны обладать такими свойствами, которые обеспечивают их длительную и надежную работу в электрических машинах и трансформаторах, и в первую очередь нагревостойкостью, механической прочностью, эластичностью, масло- и влагостойкостью. В необходимых случаях к электроизоляционным материалам предъявляются требования химической стойкости, холодостойкости и др.

Нагревостойкость — способность электроизоляционного материала выполнять свои функции при воздействии рабочей температуры в течение времени, сравнимого с расчетным сроком нормальной эксплуатации электрооборудования, в котором применяется данный электроизоляционный материал.

По нагревостойкости электроизоляционные материалы делят на семь классов (табл. 8).

В электрических машинах прежних выпусков, а также в трансформаторах достаточно часто используются электроизоляционные материалы класса А; предельно допустимая температура нагрева для этого класса изоляции не должна превышать 105°С. В современных электрических машинах широко используются изоляционные материалы классов нагревостойкости Е, В, F и Н.

§ 17. Волокнистые изоляционные материалы

Волокнистые изоляционные материалы, широко применяемые в качестве изоляции в электрических машинах и трансформаторах, следующие: хлопчатобумажные, шелковые, лавсановые нити, пряжа и ткани, а также различные виды бумаги и картона, получаемые из химически обработанных волокон древесины и хлопка.

В качестве изоляции в электрических машинах и трансформаторах применяют кабельную, телефонную и крепированную бумагу, а также электроизоляционный картон (электрокартон).

Кабельная бумага марок К-080, К-120 и К-170 поставляется в рулонах шириной соответственно 500, 650 и 750 мм и толщиной 0,08; 0,12 и 0,17 мм. Электрическая прочность сухой кабельной бумаги 7—9 кВ/мм, а пропитанной в трансформаторном масле — 70—90 кВ/мм. Объемная масса кабельной бумаги 0,8 г/см^3.

Кабельная бумага применяется в качестве межслоевой изоляции в обмотках трансформаторов и электрических машин, а также для изготовления различных электроизоляционных деталей.

Телефонная бумага марок КТ-04 и КТ-05 выпускается толщиной соответственно 0,04 и 0,05 мм в рулонах шириной 500 мм. Удельная плотность — 0,8 г/см^3.

Используется для витковой изоляции обмоточных проводов и в качестве межслоевой изоляции обмоток.

Крепированная бумага марки ЭКТ выпускается в виде ленты шириной 12, 15, 20, 25, 30 и 40 мм, а также в рулонах шириной

500, 650 и 900 мм. Благодаря наличию поперечного крепа (гофры) первоначальная длина бумаги может быть увеличена на 65—70%. Электрическая прочность — 15 кВ/мм, удельная плотность — 0,23 г/см³.

Электроизоляционный картон марок А, Б, В, Г предназначен для работы в маслонаполненных аппаратах и поэтому является основным материалом, применяемым для изоляции отдельных частей маслонаполненных трансформаторов. По нагревостойкости относится к классу А (105°С). Электрическая прочность картона зависит от толщины и составляет в воздухе 7—15 кВ/мм, а в горячем (при 90°С) трансформаторном масле (после предварительной вакуумной сушки и пропитки в сухом трансформаторном масле при (100±5)°С) — от 30 до 55 кВ/мм. Объемная масса около 1 г/см³.

Электрокартон марки А предназначен для изготовления деталей главной изоляции трансформаторов с масляным заполнением напряжением до 750 кВ включительно. Изготовляется толщиной 2; 2,5 и 3 мм с размерами листов: 3000×4000, 3000×2000, 1500××1000 и 1000×1000 мм (второй размер соответствует продольному направлению волокон).

Электрокартон марки Б характеризуется средней твердостью, повышенными электрическими характеристиками, применяется для изготовления деталей главной изоляции трансформаторов с масляным заполнением напряжением до 220 кВ включительно. Изготовляется толщиной 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм с теми же размерами листов, что и картон марки А.

Электрокартон марки В обладает повышенной твердостью, малой сжимаемостью. Предназначен для изготовления деталей продольной изоляции в трансформаторах с масляным заполнением. Изготовляется с такими же размерами листов и толщинами, как и картон марки А.

Электрокартон марки Г с повышенным сопротивлением расслаиванию является основой для изготовления склеенных изоляционных деталей в трансформаторах с масляным заполнением. Изготовляется толщиной 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 3 мм. Размеры листов: при толщине 1 мм — 850×1100, 850×1000 и 850×850 мм; при толщине более 1 мм — 1850×3850, 1650×3800, 850×1100, 850×1000, 850×850 мм. Электрокартон марки Г толщиной 0,5 мм выпускается в рулонах шириной 980—1250 мм.

§ 18. Пленочные электроизоляционные материалы

Пленочные электроизоляционные материалы представляют собой тонкие (от 30 до 350 мкм) гибкие пленки, обладающие, как правило, большой эластичностью, нагревостойкостью, влагостойкостью и электрической прочностью.

Пленочные электроизоляционные материалы получают преимущественно из синтетических высокополимерных диэлектриков

(лавсан, фторопласт-4 и др.). Применение пленочных электроизоляционных материалов для пазовой изоляции в электрических машинах позволяет уменьшить толщину изоляции и тем самым снизить массу и габариты электрических машин.

Наиболее распространены полиамидные, поливинилхлоридные и политрифторхлорэтиленовые пленки.

Полиамидные пленки обладают высокой (до 120°С) нагревостойкостью, поливинилхлоридные — гибкостью и стойкостью к маслам и растворителям, политрифторхлорэтиленовые — негорючестью и высокой прочностью. Удельная плотность пленок — 0,01—0,04 г/см^3.

§ 19. Электроизоляционные лакоткани

Электроизоляционные лакоткани представляют собой гибкие материалы, состоящие из хлопчатобумажной, шелковой, капроновой или стеклянной ткани, пропитанной лаком или каким-либо жидким электроизоляционным составом. Лак или другой пропиточный состав после отвердевания образует гибкую пленку, которая обеспечивает электроизоляционные свойства лакотканям.

В зависимости от тканевой основы лакоткани делятся на хлопчатобумажные, шелковые, капроновые и стеклянные (стеклолакоткани). В качестве пропиточных составов для лакотканей применяют масляные, масляно-битумные, полиэфирные, эскапоновые или кремнийорганические лаки, а также кремнийорганические эмали, растворы кремнийорганических каучуков и др.

Наибольшей растяжимостью и гибкостью обладают шелковые и капроновые лакоткани, но они, как и хлопчатобумажные, могут работать при нагреве не выше 105°С (класс нагревостойкости А). Стеклолакоткани имеют более высокую нагревостойкость: при пропитке масляно-битумным (ЛСБ) или эскапоновым (ЛСЭ) лаком они могут работать при нагреве до 130°С, а при пропитке кремнийорганическими составами — до 180°С. Стеклолакоткани обладают также повышенной влагостойкостью.

Лакоткани применяют для гибкой витковой и пазовой изоляции, изоляции лобовых частей обмоток электрических машин, обмоток и токопроводящих частей в трансформаторах, в качестве различного рода изоляционных прокладок, прослоек и т. д. При изолировании токопроводящих элементов неправильной формы применяют лакоткани, нарезанные в виде лент.

Лакоткань изготовляют шириной 700—1000 мм и поставляют в рулонах, содержащих от 40 до 100 м ткани. Кроме того, липкая электроизоляционная стеклолента, которая применяется для изоляции проводов и обмоток, длительно работающих при температурах до 180°С, выпускается в виде роликов ∅150—175 мм и шириной от 10 до 30 мм.

В табл. 9 приведены некоторые характеристики наиболее часто применяемых лакотканей.

Таблица 9. **Электроизоляционные лакоткани**

Классификация по основе	Марка лакоткани	Пропиточный состав	Толщина, мм	Характерные свойства
Хлопчатобумажные	ЛХМ-105	Лак масляный	0,15—0,30	С нормальными характеристиками
	ЛХМС-105	То же	0,17—0,20	С улучшенными характеристиками
	ЛХММ-105	» »	0,17—0,24	То же, но маслостойкая
	ЛХБ-105	Лак масляно-битумный	0,17—0,24	То же, но влагостойкая
Шелковые	ЛШМ-105	Лак масляный	0,08—0,15	С улучшенными электрическими характеристиками
	ЛШМС-105	То же	0,04—0,15	То же, но малой толщины
Капроновые	ЛКМ-105	Лак масляный	0,1—0,15	С повышенной эластичностью, но с большей усадкой при нагревании
	ЛКМС-105	То же	0,1—0,15	
Стеклянные	ЛСБ-120/130	Лак масляно-битумно-глифталевый	0,11—0,24	Влагостойкая
	ЛКС-155/180	Кремнийорганический лак	0,11—0,20	Нагревостойкая
	ЛСКЛ-155	То же	0,12—0,15	Липкая
	ЛСЭ-105/130	Лак эскапоновый	0,13—0,24	—
	ЛСММ-105/120	Лак масляный	0,17—0,24	Маслостойкая
	ЛСМ-105/120	То же	0,15—0,24	Немаслостойкая
	ЛСКР-180	Раствор каучука СКГ	0,11—0,20	Нагревостойкая
	ЛСЛ-105/120	Раствор латексов	0,15—0,24	—
	ЛСК-5	Полупроводящая эмаль	0,15—0,20	Полупроводящая стеклолакоткань с малым удельным сопротивлением. Применяется для выравнивания электрического поля в электрических машинах и аппаратах

Примечание. Значение букв в обозначениях марок: 1-я буква Л — лакоткань; 2-я буква относится к материалу основы: Х — хлопчатобумажная, Ш — шелковая, К — капроновая, С — стеклянная; 3-я буква характеризует пропиточный состав: М — масляный лак, Б — битумный лак, К — кремнийорганический лак, Э — эскапоновый лак. Л — латекс; 4-я буква дает дополнительные характеристики свойств лакоткани: М — маслостойкая, Л — липкая и т. п. Числа указывают температуру, соответствующую классу нагревостойкости.

§ 20. Электроизоляционные материалы на основе слюды

Для электрической изоляции применяется преимущественно природная слюда мусковит и флогопит и в ряде случаев синтетическая — фторофлогопит.

Слюдяные электроизоляционные материалы состоят из листочков слюды толщиной от 6 до 45 мкм и более, склеенных с помощью смолы или клеящего лака. Областью применения клееных слюдяных материалов является изоляция коллекторов, а также обмоток электрических машин нагревостойкого исполнения (до 180°С), т. е. машин, работающих в условиях высокой температуры окружающей среды и частых перегрузок.

Одним из важнейших изоляционных материалов, изготовляемых на основе слюды, является миканит. Основные виды миканитов — коллекторный, прокладочный, формовочный и гибкий.

Коллекторный и прокладочный миканиты относятся к группе твердых миканитов, формовочный и гибкие (стекломиканит, микафолий, микалента, микаполотно и микалекс) — к эластичным электроизоляционным миканитам.

Коллекторный миканит КФШ, КФГ, КФГС, КФА изготовляют из листочков слюды флогопит, склеенных с помощью шеллачной или глифталевой смолы.

В обозначении марок коллекторного миканита буквы обозначают следующее: К — коллекторный, Ф — на слюде флогопит, Ш — на шеллачной смоле, Г — на глифталевой смоле, С — специальный, П — полиэфирное связующее.

Прокладочный миканит ПСФШ, ПСШФА, ПСФТ делают из листочков щепаной слюды мусковит или флогопит, склеенных с помощью глифталевой или шеллачной смолы, а затем подвергнутых прессованию при температуре 150—170°С.

В обозначении марок прокладочного миканита буквы обозначают следующее: П — прокладочный, М и Ф — на слюде мусковит и флогопит, С — на смеси слюд, К—на кремнийорганической смоле, А — указание на пониженное содержание связующего.

Формовочный миканит ФСФШ и ФСФША — листовой материал, легко формуемый в нагретом состоянии. Применяется для изготовления коллекторных манжет и различных деталей фасонного профиля. В обозначении марок Ф — формовочный.

Гибкие миканиты — это гибкие листовые или рулонные материалы, изготовленные из одного или нескольких слоев щепаной слюды (мусковит, флогопит), наклеенных с помощью глифталевой, кремнийорганической или шеллачной смолы с одной или двух сторон на бумагу, стеклоткань или хлопчатобумажную ткань. Гибкие миканиты отличаются от твердых и формовочных гибкостью при нормальной температуре, которую они сохраняют и после нагрева и охлаждения. Они применяются для изоляции различных частей обмоток в пазовой и лобовой частях, прокладок и т. п.

Разновидностью гибкого миканита является микалента — ленточный материал из склеенных пластинок слюды с двусторонней подложкой из микалентной бумаги или стеклоленты (стекломикалента). Толщина микалент — 0,13 или 0,17 мм. Их применяют главным образом для изоляции высоковольтных обмоток. В зависимости от материала подложек и клеящего состава микаленты относятся к классам нагревостойкости В, F или Н. Микалента поставляется свернутой в ролики, упакованные в плотно закрытые жестяные коробки. Вынутая из коробки микалента должна немедленно использоваться, так как на воздухе она быстро пересыхает и становится непригодной.

Электроизоляционные материалы на основе слюды обладают высокими электрическими характеристиками, нагревостойкостью, влагостойкостью и механической прочностью. Их применяют для изоляции роторных стержней, в качестве пазовой и междуфазной изоляции, изолирующих прокладок, изготовления коллекторных манжет, межпластинной изоляции коллекторов и в ряде случаев, когда к изоляции предъявляются повышенные требования по нагревостойкости и электрической прочности.

Изготовление изоляционных материалов на основе щепаной слюды чрезвычайно трудоемко и не может быть в достаточной степени механизировано, так как требует предварительной «щипки» слюды на пластины, их калибровки и равномерной наклейки по слоям.

В настоящее время широко применяют изоляционные материалы, в которых используются не пластины слюды, а ее мелкие чешуйки, полученные механическим раздроблением. Из них делают слюдинитовую бумагу, которая служит основой для ряда изоляционных материалов, аналогичных миканитам. С помощью связующих материалов и стеклянных подложек получают коллекторный и формовочный слюдиниты, гибкие слюдиниты и стеклослюдиниты, слюдинитофолий и стеклослюдинитофолий, слюдинитовые и стеклослюдинитовые ленты и другие материалы. Эти материалы вполне заменяют миканиты и в то же время намного дешевле и технологичнее, чем изоляционные материалы на основе щепаной слюды.

Из более крупных чешуек слюды изготовляют слюдопластовые материалы, аналогичные слюдинитовым, но имеющие более высокие механические свойства (коллекторный, формовочный и прокладочный слюдопласт, слюдопластофолий, слюдопластовые ленты и т. п.). Эти материалы не уступают по своим электрическим свойствам соответствующим сортам миканитов, но превосходят их в гибкости, поэтому широко используются в современных изоляционных конструкциях.

§ 21. Слоистые электроизоляционные пластмассы

В электрических машинах и аппаратах в качестве изолирующих материалов часто применяют слоистые электроизоляционные

Таблица 10. **Основные размеры и области применения слоистых электроизоляционных пластмасс**

Материал	Марка	Номинальная толщина листов, мм	Площадь листов, мм²	Преимущественное назначение
Гетинакс	I	0,2—0,5; 0,6—1,2; 1,3—1,9; 2,0—3,5; 3,8—6,3; 6,5—9,5; 10—12,5; 13—17; 18—25; 26—33; 34—41; 42—50	550×700, 650×930, 700×930, 930×1030, 430×1430	Для работы на воздухе при нормальных климатических условиях при частоте 50 Гц и напряжении до 1000 В или в трансформаторном масле
	II	Выпускается той же толщины, что гетинакс I, но начиная с толщины 0,4	550×700, 650×930, 700×930, 930×1030, 930×1430, 550×700, 650×930, 700×930, 930×1030, 930×1430	Для работы на воздухе при нормальных климатических условиях при частоте 50 Гц и напряжении до 1000 В или в трансформаторном масле с более широкими допусками по толщине, чем марка I; коробление не нормируется
	III	5—7,5; 8—11; 11,5—14; 15,5—20; 21—28; 29—36; 37—50	550—700, 650—930, 700—930, 930—1030, 930—1430	Для работы в условиях повышенной влажности при частоте 50 Гц и напряжении до 1000 В
	IV	2—6,5; 7—10; 10,5—13; 13,5—18; 19—26; 27—34; 35—40; 42—50	550—700, 650—930, 930—1030, 930—1430	Для работы на воздухе в условиях влажного тропического климата при частоте 50 Гц и напряжении до 1000 В или в в трансформаторном масле
	V—I, V—II	Выпускаются той же толщины, что и гетинакс марки III	550×700, 650×930, 700×930, 930×1030, 930×1430	Для работы в трансформаторном масле при частоте 50 Гц и напряжении выше 1000 В или на воздухе при нормальных климатических условиях
Текстолит	А	0,5—1,2; 1,4—2,5; 3—5,5; 6—10; 10,5—18; 19—28; 30—38; 40—50	Не менен 450×600	Для работы в трансформаторном масле и на воздухе при частоте 50 Гц с повышенными электрическими характеристиками
	Б	Выпускается той же толщины, что и текстолит марки А	Не менее 450×600	Для работы на воздухе при частоте 50 Гц с повышенными механическими характернстиками
	Г	То же	Не менее 450×600	Для работы в трансформаторном масле и на воздухе, но с расширенными допусками по толщине и короблению

Материал	Марка	Номинальная толщина листов, мм	Площадь листов, мм²	Преимущественное назначение
Стеклотекстолит	СТ	1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30	(450—980)× ×(600—1480)	Для работы при напряжении до 1000 В и частоте 50 Гц на воздухе при нормальных климатических условиях (до 130°С)
	СТ-Б	1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30	(450—980)× ×(600—1480)	Для работы при напряжении до 1000 В и частоте 50 Гц на воздухе при нормальных климатических условиях (до 130°С), но с расширенными допусками по толщине и ненормированным короблением
	СТ-I	0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30	(450—980)× ×(600—1480)	То же, но с более однородной внутренней и поверхностной структурой в исходном состоянии и после механической обработки
	СТ-II	0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 2,8; 3; 3,5	(450—980)× ×(600—1480)	С повышенной жесткостью при рабочих температурах; для работы под напряжением до 1000 В и частоте 50 Гц на воздухе при нормальных климатических условиях
	СТЭФ	1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30	(450—980)× ×(600—1480)	Для работы при напряжении свыше 1000 В и частоте 50 Гц—в нормальных условиях на воздухе, а также для работы с напряжением до 1000 В во влажной атмосфере при 35°С
Асботекстолит	АСТ-А	6; 7; 8; 10; 12; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 37; 40; 42; 44; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60	(450—1000)×(600—2480)	Распорки и клинья в роторах турбогенераторов и в качестве панельного материала (до 130°С)
Дельта-древесина	ДСП-В-Э	1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60	От 700×800 до 5600× ×1200	Конструкционные и электроизоляционные детали, работающие в трансформаторном масле. Для работы на открытом воздухе требует тщательной защиты от влаги

Материал	Марка	Номинальная толщина листов, мм	Площадь листов, мм²	Преимущественное назначение
	ДСП-Б-Э	15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60	От 700× × 1000 до 5600×1200	Конструкционные и электроизоляционные детали, работающие в трансформаторном масле. Для работы на открытом воздухе требует тщательной защиты от влаги; обладает менее высокой механической прочностью и несколько пониженными электрическими характеристиками

пластмассы, состоящие из чередующихся слоев листового наполнителя (бумага или ткань) и связующего вещества (бакелитовые или кремнийорганические смолы).

Основными представителями группы слоистых пластмасс являются гетинакс, текстолит и стеклотекстолит.

В качестве наполнителей в слоистых электроизоляционных материалах применяют специальные сорта пропиточной бумаги (гетинакс), а также хлопчатобумажные ткани (текстолит) и бесщелочные стеклянные ткани (стеклотекстолит). Пропитанные и высушенные листовые наполнители собирают в пакеты заданной толщины и подвергают горячему прессованию в гидравлических прессах.

Наибольшей нагревостойкостью и лучшими электрическими характеристиками обладают стеклотекстолиты на кремнийорганических связующих.

В ряде случаев в качестве твердых электроизоляционных материалов используют такие слоистые пластмассы, как асботекстолит и дельта-древесину.

Основные размеры и области применения слоистых электроизоляционных пластмасс приведены в табл. 10.

§ 22. Пропиточные электроизоляционные составы (компаунды)

Компаундами называются электроизоляционные составы, жидкие в момент их применения, которые затем отверждаются и в конечном (рабочем) состоянии представляют собой твердые вещества.

Компаунды обладают высокой стойкостью к воде и хорошими электрическими характеристиками, а также способностью длительной работы в интервале температур от —40 до +120°С. Характери-

стики и области применения пропиточных и пропиточно-заливочных компаундов приведены в табл. 11.

Таблица 11. Основные характеристики и области применения компаундов

Классификация по назначению	Марка или обозначение компаунда	Составные части	Общая характеристика и области применения
Пропиточные	225, 225-Д	Битум ухтинский, канифоль, масло льняное обезвоженное	Аморфная водостойкая масса черного цвета. Применяется для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов (пропитка при 160°С под давлением)
	Битумный	Битумы марок BH-V, БН-III-V, В и специальный	То же, но менее эластичная масса. Применяется для пропитки катушек машин постоянного тока (при 140—150°С под давлением)
	КГСМ-1	Непредельный полиэфир № 1, стирол, перекись бензоила, гидрохинон	Аморфная масса желтого цвета, обладающая высокой механической прочностью и водостойкостью. Применяется для пропитки обмоток трансформаторов и аппаратов, работающих при температурах от — 60 до + 120°С
	КГМС-2	Непредельный полиэфир № 2, стирол, перекись бензоила, гидрохинон	То же, но отвердевший компаунд обладает большей эластичностью
	К-43	Состав на основе полиметилфенилсилоксана и линолеата свинца	Пропитка обмоток электрических машин и аппаратов, длительно работающих при 180°С и в условиях высокой влажности
Пропиточно-заливочные	МБК-1	Метакриловый эфир	Пропитка обмоток электрических машин и заливка катушек и блоков электрических аппаратов
	МБК-2	Метакриловый эфир, пластификаторы	То же, но для получения более эластичной пропитки

§ 23. Трансформаторное масло

Трансформаторное масло относится к группе жидких диэлектриков, основное назначение которых — отвод теплоты от нагревающихся внутренних частей электрооборудования, гашение электрической дуги в масляных выключателях, усиление электрической прочности твердой изоляции и герметизация электрических аппаратов.

Масло, применяемое для заливки трансформаторов, должно отвечать ряду требований: электрическая прочность (минимальное пробивное напряжение) при 20°С и частоте 50 Гц — не ниже 15 кВ; кислотное число КОН на 1 г масла — не более 0,05 мг; температура вспышки паров — не ниже +135°С; температура застывания — не выше —35°С; зольность — не более 0,005%.

Трансформаторное масло не должно содержать водорастворимых кислот, щелочей и механических примесей.

Контрольные вопросы

1. Где применяют электроизоляционные материалы?
2. Назовите классы нагревостойкости изоляционных материалов.
3. Какие волокнистые электроизоляционные материалы вы знаете и где они применяются?
4. Расскажите о свойствах и областях применения изоляционных лакотканей ЛХС и ЛШС.
5. Для чего служит трансформаторное масло в маслонаполненных аппаратах?

ГЛАВА V
СХЕМЫ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 24. Виды обмоток электрических машин и способы их изображения

Важная составная часть электрической машины — ее обмотки, в которых происходят основные рабочие процессы по преобразованию энергии. В наиболее распространенных типах электрических машин можно выделить:

трехфазные обмотки машин переменного тока, используемые обычно в статорах трехфазных асинхронных и синхронных машин, а также в роторах асинхронных двигателей с контактными кольцами;

однофазные обмотки статоров асинхронных однофазных двигателей с короткозамкнутым ротором;

обмотки якорей коллекторных машин постоянного и однофазного переменного тока;

короткозамкнутые обмотки роторов асинхронных электродвигателей;

обмотки возбуждения синхронных и коллекторных машин.

Обмотки возбуждения синхронных и коллекторных машин состоят, как правило, из сравнительно простых полюсных катушек. Несложным является и устройство короткозамкнутых обмоток роторов асинхронных двигателей. Остальные же виды перечисленных выше обмоток представляют собой достаточно сложные системы размещенных в пазах изолированных проводников, соединенных по особым схемам, требующим специального изучения.

Простейшим элементом обмотки является виток, который состоит из двух последовательно соединенных проводников, размещенных в пазах, находящихся, как правило, под соседними разноименными полюсами. Лежащие в пазах проводники витка являются его активными сторонами, поскольку именно здесь наводится эдс от главного магнитного поля машины. Находящиеся вне паза части витка, соединяющие между собой активные проводники и располагающиеся по торцам магнитопровода, называются лобовыми частями.

Проводники, образующие виток, могут состоять из нескольких параллельных проводов. Обычно к этому прибегают, чтобы сделать обмотку мягкой и облегчить ее укладку в пазы.

Один или несколько последовательно соединенных витков образуют катушку или секцию * обмотки. Если секция состоит из одного витка, то такую обмотку называют стержневой, так как в этом случае находящиеся в пазах проводники обычно представляют собой жесткие стержни. Обмотка, состоящая из многовитковых секций, называется катушечной.

Катушка или секция обмотки характеризуется числом витков w_c и шагом y, т. е. количеством охватываемых ею зубцов магнитопровода. Так, например, если одна сторона катушки (секции) лежит в первом пазу, а вторая — в шестом, то катушка охватывает пять зубцов и шаг ее равен пяти ($y=5$). Шаг, таким образом, может быть определен как разность между номерами пазов, в которых уложены две стороны катушки ($y=6-1=5$). Зачастую в обмоточных записках и технической литературе шаг обозначают номерами пазов (начиная с первого), в которые уложены стороны катушки, т. е. в нашем случае это обозначение выглядит так: $y=1-6$.

Шаг обмотки называют диаметральным, если он равен полюсному делению τ, т. е. расстоянию между осями соседних разноименных полюсов, или, что то же самое, числу пазов (зубцов), приходящихся на один полюс. В этом случае $y=\tau=z/2p$, где z — число пазов (зубцов) сердечника, в котором размещена обмотка; $2p$ — число полюсов обмотки.

Если шаг катушки меньше диаметрального, то его называют укороченным. Укорочение шага, характеризуемое коэффициентом укорочения $k_y=y/\tau$, широко применяется в обмотках статоров трехфазных асинхронных электродвигателей, так как при этом экономится обмоточный провод (за счет более коротких лобовых частей), облегчается укладка обмотки и улучшаются характеристики двигателей. Применяемое укорочение шага обычно лежит в пределах 0,85—0,66.

В двухполюсной электрической машине центральный угол, соответствующий полюсному делению, равен 180°. Хотя в четырех-

* Термин «катушка» в этом смысле чаще применяют к обмоткам бесколлекторных машин, а «секция» — к обмоткам якорей коллекторных машин.

полюсных машинах этот геометрический угол равен 90°, в шестиполюсных — 60° и т. д., принято считать, что между осями соседних разноименных полюсов во всех случаях угол равен 180 электрическим градусам (180 эл. град.). Иначе говоря, полюсное деление $\tau = 180$ эл. град.

Различают однослойные обмотки, где каждый паз занят стороной одной катушки (секции), и двухслойные, где в пазах размещены стороны разных катушек (секций) в два слоя.

Способы изображения обмоток электрических машин достаточно условны и своеобразны, поэтому их следует заранее разъяснить. Дело в том, что обмотки содержат большое число проводников, и если бы мы хотели изобразить все соединения между проводниками, витками, катушками и катушечными группами обмотки с помощью рисунка, то такой рисунок для реальной электрической машины получился бы очень сложным и технически трудно выполнимым. Практически невозможно и на обычном проекционном машиностроительном чертеже изобразить обмотку таким образом, чтобы чертеж давал достаточно полное представление о ней и по этому чертежу можно было бы производить обмоточные работы. Поэтому приходится прибегать к изображению обмоток в виде схем.

Преимущественно пользуются двумя основными способами изображения обмоток на схемах.

При первом способе цилиндрическую поверхность сердечника вместе с обмоткой (а у коллекторной машины — вместе с коллектором) как бы мысленно разрезают по образующей и разворачивают на плоскость чертежа. Такого типа схемы называются развернутыми или схемами-развертками.

При втором способе обмотку как бы проектируют на плоскость, перпендикулярную оси сердечника, показывая вид обмотки с торца (для коллекторных машин обычно со стороны коллектора). Проводники (или активные стороны секций и катушек), расположенные в пазах на поверхности сердечника, изображают кружочками и показывают торцевые (лобовые) соединения обмотки. При необходимости изображаются не только видимые с данной стороны торцевые соединения обмотки, но и размещенные с обратной стороны сердечника невидимые лобовые части, причем их изображение в этом случае выносится за окружность сердечника. Схемы такого типа называют торцевыми или круговыми.

Схемы дают достаточно четкое представление об устройстве и размещении на сердечнике всех элементов обмотки и соединений между ними. На схемах в основном изображают лишь проводники обмотки, стараясь по возможности опустить все остальные детали, загромождающие схему и затрудняющие ее чтение. Необходимые дополнительные технические данные приводятся на схемах в виде надписей. Катушка или секция на схеме изображается одной линией независимо от того, намотана она в один провод или в несколько параллельных проводов, состоит из одного витка или является многовитковой. На развернутой схеме секции и ка-

тушки изображаются в виде замкнутой, напоминающей действительную конфигурацию секции (катушки), фигуры, от которой ответвляются выводы.

В развернутых схемах двухслойных обмоток стороны катушек или секций, лежащие ближе к воздушному зазору, т. е. в верхнем слое паза, изображают сплошными линиями, а стороны, лежащие в нижнем слое, — штриховыми (пунктирными) линиями. Иногда (в книгах старых изданий) активные стороны катушек в обоих слоях паза изображают сплошными линиями, но те стороны, что лежат в верхнем слое, располагают слева, а те, что лежат в нижнем слое, — справа.

На схемах трехфазных обмоток провода разных фаз могут изображаться различающимися между собой линиями, например сплошными, штриховыми и штрихпунктирными, линиями разной расцветки или разной толщины, двойными линиями с разной штриховкой между ними.

На схемах обычно указывают номера пазов, номера коллекторных пластин, могут быть также обозначены номера катушек (секций) и их сторон, номера и маркировка выводных концов катушечных групп, фаз обмотки, указаны направления токов, фазные зоны, полюса магнитного поля и т. д.

Схемы необходимы не только при изучении принципа работы обмоток, их устройства, свойств и особенностей, но также и для выполнения обмоточных работ. Не имея схемы и не сверяясь с ней в процессе работы, трудно выполнить обмотку, поэтому перед началом ремонта обмотки надлежит составить ее схему.

Следует отметить, что полные развернутые и торцевые схемы сложных многополюсных обмоток с большим числом пазов получаются очень громоздкими и трудными для чтения. В этих случаях в процессе выполнения обмоток, элементы которых повторяются, часто используют практические развернутые схемы, где изображена, например, лишь одна фаза (иногда часть фазы) трехфазной обмотки или несколько секций обмотки коллекторной машины. Широко используются также упрощенные торцевые схемы, где целые катушечные группы изображают в виде части дуги с обозначенными выводами, а более мелкие элементы обмотки не изображают или изображают на схеме отдельно. Упрощенные торцевые схемы удобны при выполнении соединений между катушечными группами в сложных обмотках.

В практике выполнения обмоточных работ пользуются и другими видами упрощенных схем, а также обмоточными таблицами.

§ 25. Схемы трехфазных обмоток

В трехфазных обмотках те катушки, активные стороны которых расположены под двумя соседними разноименными полюсами, обычно соединяют последовательно между собой в катушечные

группы (рис. 45). Катушечная группа, как правило, образует одну пару полюсов одной фазы обмотки.

Катушечные группы соединяют в фазы обмотки. Для образования фаз может быть использовано последовательное, параллельное или смешанное соединение катушечных групп между собой, однако при этом должно соблюдаться правильное чередование полюсов магнитного поля, создаваемого обмоткой.

Все три фазы обмотки должны быть симметричными. Поэтому в каждой из трех фаз содержится равное количество катушек, одинаково соединенных между собой и симметрично расположенных в магнитном поле машины. Только при этом условии суммарные эдс в фазах будут равными по величине и сдвинутыми относительно друг друга на $^1/_3$ периода, т. е. образуют симметричную трехфазную систему эдс. Фазы обмотки могут соединяться между собой в звезду или треугольник.

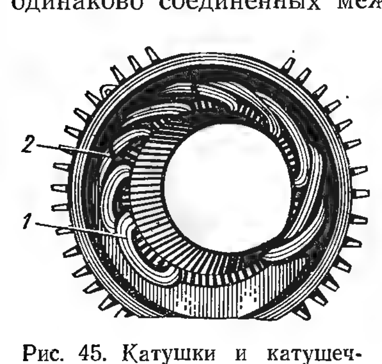


Рис. 45. Катушки и катушечные группы трехфазной обмотки (статор двигателя с частично уложенной однослойной шаблонной обмоткой с концентрическими катушками, $2p=8$, $q=3$):
1 — катушка, *2* — катушечная группа из трех катушек

Одной из важнейших характеристик трехфазных обмоток является число пазов на полюс и фазу q: $q=z/(2pm)$, где z — число пазов, в которых размещена обмотка; $2p$ — число полюсов магнитного поля; m — число фаз.

Число q обычно также показывает, из скольких катушек состоят катушечные группы данной обмотки. Так, если трехфазная ($m=3$) четырехполюсная ($2p=4$) обмотка расположена в 60 пазах ($z=60$), то $q=z/(2pm)=60/(4\cdot3)=5$. Такая обмотка будет иметь по пять катушек в каждой катушечной группе.

Если же в этих 60 пазах разместить трехфазную восьмиполюсную обмотку, то число пазов на полюс и фазу окажется не целым, а дробным $q=60/(8\cdot3)=2^1/_2$. Такие обмотки называются обмотками с дробным q.

Так как в каждой отдельной катушечной группе может быть лишь целое число катушек, то при дробном q катушечные группы в каждой фазе обмотки не будут одинаковыми, а будут содержать разное количество катушек. В этом случае число q показывает среднее количество катушек, приходящееся на одну катушечную группу.

Обмотки с дробным q применяют в статорах многополюсных синхронных генераторов при $q<3$.

Обычно трехфазные обмотки выполняются как шестизонные. В таких обмотках пазы, занимающие два полюсных деления (360 эл. град.), распределяются на шесть частей — зон (по одной зоне на каждую фазу в пределах одного полюсного деления).

Если обмотка выполнена с q, равным целому числу, и с диаметральным шагом $y=\tau$, то каждая зона шестизонной обмотки занимает 60 эл. град.

Для трехфазных обмоток существует следующее соотношение между частотой вращения магнитного поля машины, числом его полюсов и частотой тока в обмотке: $n=60f/p$, где n — частота вращения магнитного поля, об/мин; p — число пар полюсов; f — частота проходящего по обмотке тока, Гц.

Однослойные концентрические обмотки в последние годы стали широко применять в асинхронных двигателях небольшой и средней мощности, в частности в асинхронных двигателях единой серии 3, 4 и 5-го габаритов. Это объясняется возможностью достигнуть хорошего заполнения пазов проводниковыми материалами, поскольку не нужна изоляция между слоями обмотки, а также наличием на электромашиностроительных заводах соответствующих полуавтоматических станков, позволяющих механизировать операцию намотки.

Название типа обмотки — однослойная концентрическая — объясняется тем, что, во-первых, каждый из пазов, в которых располагается обмотка, занят полностью одной стороной катушки, т. е. стороны катушек уложены в пазах в один слой, а во-вторых, катушки, составляющие одну катушечную группу обмотки, имеют разную ширину и расположены так, что охватывают как бы концентрически одна другую.

Обмотки рассматриваемого типа имеют лобовые части, расположенные в двух или трех ярусах (плоскостях). В соответствии с расположением лобовых частей различают двухплоскостные (двухъярусные) и трехплоскостные (трехъярусные) обмотки.

На рис. 46 представлены развертная схема, торцевая схема расположения лобовых частей, а также вид лобовых частей однослойной концентрической двухплоскостной обмотки трехфазной ($m=3$) четырехполюсной ($2p=4$) машины, имеющей сердечник с 24 пазами ($z=24$). Обмотка выполнена с последовательным соединением катушечных групп в фазе, т. е. без параллельных ветвей (число параллельных ветвей $a=1$).

Составление развернутой схемы этой обмотки (рис. 46, *а*) осуществляется следующим образом. Сначала находят число пазов на полюс и фазу по формуле $q=z/(2pm)=24/(4\cdot 3)=2$.

Затем в виде вертикальных линий изображают расположенные в пазах активные стороны катушек, причем стороны катушек, принадлежащие к разным фазам, изображаются отличающимися линиями; например: первая фаза — сплошными линиями, вторая фаза — пунктирными, а третья — штрихпунктирными.

В нашем случае на полюсном делении τ расположено шесть пазов: $\tau=z/(2p)=24/4=6$.

Следовательно, каждая фазная зона включает в себя $\tau/m=$ $=6/3=2$ паза. Условившись, что в крайнем слева пазу будет лежать активная сторона катушки первой фазы, линии, изображающие активные стороны катушек на участке первого полюсного

деления, рисуют в таком порядке: сначала две (так как $q=2$) сплошные линии (первая фаза), далее две шрихпунктирные линии (третья фаза), затем две пунктирные линии (вторая фаза).

Точно в таком же порядке располагают активные стороны катушек в пазах остальных трех полюсных делений. Рисуя вертикальные линии, изображающие активные стороны катушек, в середине каждой линии делают разрыв, в котором затем проставляют номер паза.

Распределив по пазам активные стороны катушек, принадлежащих разным фазам, приступают к вычерчиванию самих катушек и образованию катушечных групп. При этом руководствуют-

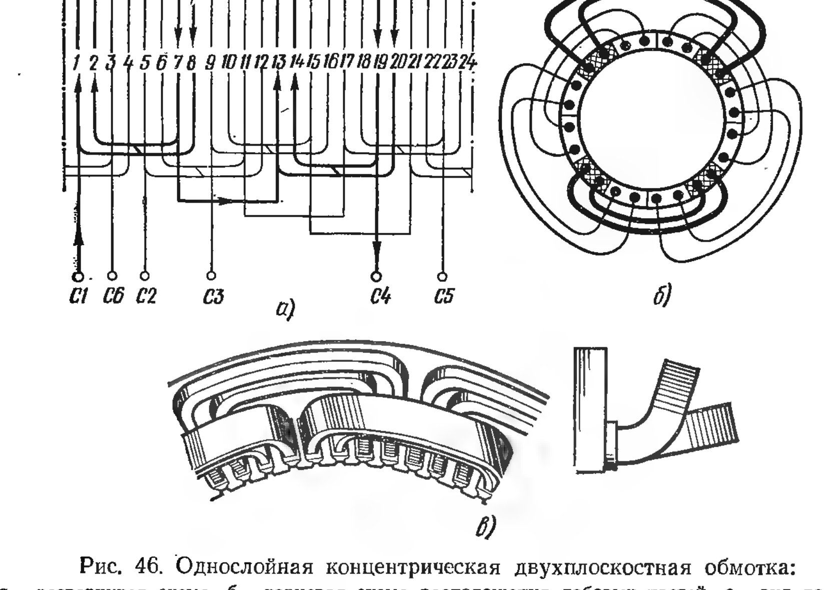


Рис. 46. Однослойная концентрическая двухплоскостная обмотка: *а* — развернутая схема, *б* — торцевая схема расположения лобовых частей, *в* — вид лобовых частей

ся такими соображениями. Поскольку $q=2$, то каждая катушечная группа будет состоять из двух катушек, а так как обмотка концентрическая, то катушки в каждой группе должны иметь разную ширину и охватывать одна другую. Следовательно, первая катушечная группа первой фазы будет состоять из двух катушек, одна из которых, занимающая пазы *1* и *8*, охватывает вторую, лежащую в пазах *2* и *7*. Вторая катушечная группа первой фазы состоит из катушек, занимающих пазы *13—20* и *14—19*. Катушки в каждой катушечной группе соединяются последовательно, что на схеме показывается короткой перемычкой между нижними лобовыми частями.

Поскольку обмотка двухплоскостная и лобовые части катушечных групп должны располагаться в двух разных ярусах (рис. 46, *в*), то необходимо определить, сколько катушечных групп будут иметь более короткие лобовые части, расположенные в первом ярусе, а сколько — более длинные, расположенные во втором ярусе. Число катушек в однослойной обмотке вдвое меньше числа пазов, так как каждая катушка занимает два паза. Поэтому рассматриваемая обмотка будет содержать 12 катушек. Каждая катушечная группа состоит из двух катушек, а следовательно, общее количество катушечных групп обмотки (k) равно шести: $k=z/(2q)=24/(2\cdot2)=6$.

В каждой из трех фаз будет содержаться по две катушечные группы, так как $k/m=6/3=2$.

Рассматриваемая обмотка имеет четное число катушечных групп — шесть, поэтому их легко разделить между двумя ярусами: три катушечные группы в первом ярусе, а три — во втором. Чтобы все три фазы были симметричными, в каждой фазе одна катушечная группа выполняется с лобовыми частями в первом ярусе, а вторая — во втором. Поэтому в первой фазе первая катушечная группа, состоящая из катушек, расположенных в пазах *1—8* и *2—7*, изображается с короткими лобовыми частями, а вторая катушечная группа с катушками в пазах *13—20* и *14—19* — с длинными лобовыми частями.

Следующий этап построения схемы — соединение катушечных групп между собой и образование фазы обмотки. По заданию фаза обмотки не имеет параллельных ветвей ($a=1$), т. е. катушечные группы в фазе соединяются последовательно. Чтобы правильно соединить катушечные группы между собой, на схеме обозначают такое направление токов в активных сторонах всех катушек фазы, которое обеспечивает образование заданного количества полюсов магнитного поля (в нашем случае — четырех полюсов) и правильное их чередование. При этом можно руководствоваться известным правилом буравчика. Нетрудно видеть, что в рассматриваемой обмотке первая фаза создает четырехполюсное магнитное поле с правильным чередованием полюсов, если направления токов в активных сторонах катушек будут такими, как показано стрелками на рис. 46, *а*, т. е. в пазах *1—2* и *13—14* — снизу вверх, а в пазах *7—8* и *19—20* — сверху вниз. Поскольку направления токов в обеих катушечных группах фазы совпадают (от начала — к концу), то при последовательном их соединении конец первой катушечной группы, выходящий из паза *7*, необходимо соединить с началом второй катушечной группы, выходящим из паза *13*.

Итак, образовалась одна — первая — фаза обмотки, причем начало первой фазы выведено из паза *1*, а конец — из паза *19*. Поскольку две остальные фазы обмотки — вторая и третья — должны быть такими же, как и первая, то порядок их образования особых пояснений не требует. Рассмотрим лишь два вопроса — о нахождении пазов, в которых должны располагаться выводы

этих фаз, и распределении по ярусам лобовых частей их катушечных групп.

Фазы обмотки должны располагаться симметрично в магнитном поле машины, т. е. должны быть сдвинуты на 120 эл. град. или, что то же самое, на $^2/_3$ полюсного деления τ. В рассматриваемой обмотке на полюсное деление приходится шесть пазов, а на $2\tau/3$, т. е. на 120 эл. град., — четыре паза. Этот же расчет можно сделать иначе. Обмотка четырехполюсная, а следовательно, полная окружность сердечника содержит $360 \cdot p = 360 \cdot 2 = 720$ эл. град. Сердечник имеет 24 паза, поэтому каждое пазовое деление соответствует $720/24 = 30$ эл. град. Фазы должны быть сдвинуты на 120 эл. град., т. е. на $120/30 = 4$ пазовых деления, или на четыре паза.

Поскольку начало первой фазы выведено из паза *1*, то начало второй фазы следует вывести из паза *5*, а начало третьей фазы, сдвинутой еще на 120 эл. град., должно выводиться из паза *9*. Соответственно определяются и пазы, из которых выводятся концы фаз. Так как конец первой фазы выведен из паза *19*, то конец второй фазы следует вывести из $19+4=23$-го паза, а конец третьей фазы — из 27-го паза. Но по окружности сердечника расположено только 24 паза. Поэтому, если от 23-го паза, откуда выведен конец второй фазы обмотки, отсчитать еще четыре паза, перемещаясь по схеме слева направо, т. е. по направлению часовой стрелки вдоль окружности сердечника (рис. 46, *б*), то определим, что конец третьей фазы должен выводиться из $23+4-24=$ $=3$-го паза.

Что касается распределения катушечных групп по ярусам, то нетрудно видеть, что в одном и том же ярусе можно поместить лишь те катушечные группы, лобовые части которых не перекрещиваются между собой. Начиная построение первой катушечной группы второй фазы, начало которой лежит в пазу *5*, мы видим, что ее лобовые части перекрещиваются с лежащими в первом ярусе лобовыми частями первой катушечной группы первой фазы. Следовательно, лобовые части первой катушечной группы второй фазы должны быть расположены во втором ярусе. Аналогичными соображениями руководствуются при построении на схеме всех остальных катушечных групп.

В однослойной концентрической обмотке шаги катушек в катушечной группе разные. Так, в рассмотренной обмотке шаг широкой катушки равен 7, а шаг узкой катушки — 5. В общем же случае шаг наружной, самой широкой, катушки в катушечной группе такой обмотки составляет $4q-1$, а шаг каждой следующей охватываемой ею катушки — на два меньше. Самая узкая — внутренняя — катушка имеет шаг $2q+1$. Средний шаг всех катушек, входящих в катушечную группу, являющийся расчетным при определении эдс обмотки, составляет $[(4q-1)+(2q+1)]/2=3q=$ $=z/(2p)=\tau$, т. е. является диаметральным.

Как было сказано выше, в однослойной обмотке число катушечных групп в фазе равно числу пар полюсов, а следовательно,

число катушечных групп всей обмотки, состоящей из трех фаз, равно $3p$ (т. е. $k=mp=3p$). Если такая обмотка выполняется двухплоскостной, то число катушечных групп, лобовые части которых расположены в одной плоскости, составит $3p/2$. Число $3p/2$ может быть целым лишь в том случае, когда число пар полюсов машины

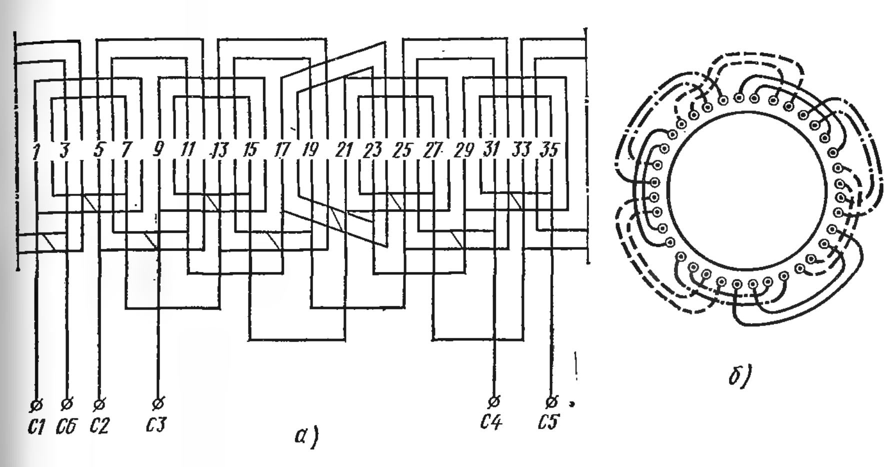


Рис. 47. Развернутая схема однослойной концентрической двухплоскостной обмотки с «переходной» катушечной группой (*а*) и торцевая схема расположения лобовых частей (*б*)

p — четное. Следовательно, двухплоскостная обмотка может быть выполнена с целым числом катушечных групп в каждом ярусе только при p четном, т. е. в четырехполюсных, восьмиполюсных, двенадцатиполюсных и т. д. машинах. Если же число пар полюсов p нечетное, т. е. число полюсов машины $2p$ равно 2; 6; 10; 14 и т. д., то двухплоскостная обмотка должна иметь так называемую «переходную» катушечную группу, лобовые части которой находятся как бы наполовину в первом ярусе, а наполовину — во втором. Схема такой обмотки для шестиполюсной машины приведена на рис. 47, *а, б*.

Следует отметить, что фазы этой обмотки имеют симметрично расположенные на сердечнике активные стороны катушек, но отличаются длиной своих лобовых частей. Так, в первой фазе последовательно включены одна короткая и две длинные катушечные группы, во второй фазе — короткая, «промежуточная» и длинная, а в третьей — одна длинная и две короткие катушечные группы. Следовательно, фазы этой обмотки имеют разное по величине активное сопротивление, которое, однако, обычно не превышает 10—12% полного сопротивления, зависящего в основном от индуктивности катушек. Если же учесть, что за счет отличающихся по длине лобовых частей разница в активных сопротивлениях катушечных групп бывает, как правило, не более 10—15%, то отли-

чие в полном сопротивлении фаз будет составлять всего 1—2%, что практически не влияет на работу машины.

Однослойные шаблонные (равнокатушечные) обмотки состоят, как правило, из одинаковых катушек, изготовляемых на одном и том же шаблоне, имеющем обычно форму трапеции. Благодаря

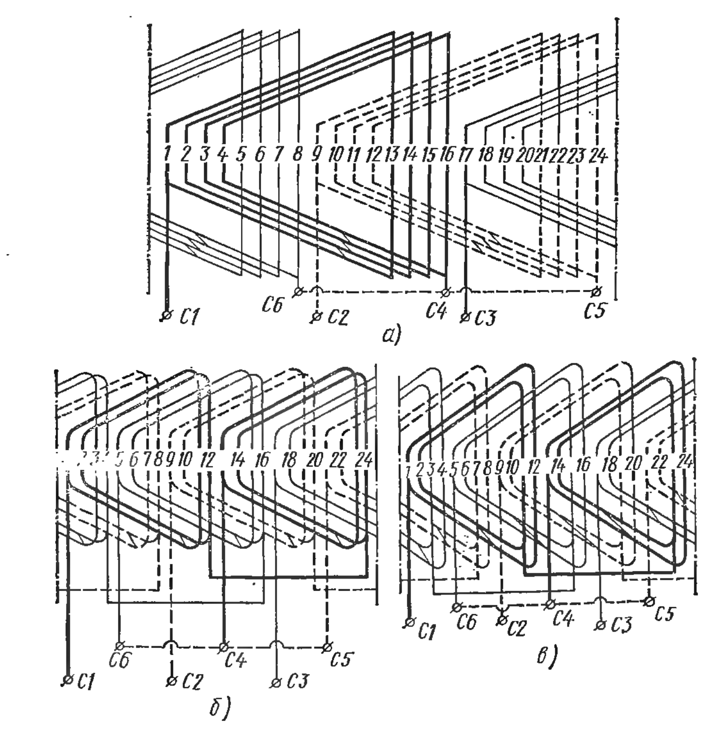


Рис. 48. Однослойные шаблонные обмотки:

а — простая, *б* — «вразвалку», *в* — вразвалку с концентрическими катушками

трапецеидальной форме катушек их лобовые части расположены в двух плоскостях.

Обмотки этого типа делятся на простые шаблонные, обмотки «вразвалку», шаблонные концентрические.

На рис. 48, *а* представлена развернутая схема простой шаблонной двухполюсной обмотки, размещенной в сердечнике с 24 пазами, а на рис. 48, *б*, *в* — схемы шаблонных обмоток, намотанных «вразвалку» для таких же машин. Особенность намотки «вразвалку» состоит в том, что катушечная группа разбита на две полугруппы, лобовые части которых отогнуты в разные стороны, т. е. катушечная группа как бы «развалена» надвое. Обмотки «вразвалку» используют обычно при больших значениях q ($q \geqslant 4$). В этом случае достигается некоторое уменьшение размеров лобовых частей.

Сравнивая две последние схемы между собой, нетрудно заметить, что обмотка, показанная на рис. 48, *б*, является равнокатушечной, в то время как обмотка, выполненная по схеме рис. 48, *в*, состоит из катушек двух типов, т. е. не является равнокатушечной в строгом смысле. Здесь в каждой двухкатушечной полугруппе широкая катушка охватывает узкую, поэтому такую обмотку называют шаблонной концентрической. Ее достоинство по сравнению с равнокатушечной — меньшее количество «перекрещиваний» в лобовых частях, что позволяет делать их укладку более плотной, недостаток — наличие катушек разной величины, из-за чего несколько усложняется шаблон.

Цепные обмотки в отличие от уже рассмотренных однослойных обмоток могут иметь не только диаметральный, но и укороченный шаг. Выполняются цепные обмотки «вразвалку» и в этом отношении они напоминают рассмотренные выше соответствующие шаблонные обмотки, но в отличие от них у цепных обмоток развалка делается не по полугруппам, а по катушкам, поскольку длинные и короткие стороны катушек цепной обмотки чередуются в пазах. На рис. 49, *а* показана схема цепной обмотки с диаметральным шагом. Обмотка четырехполюсная, размещена в 36 пазах и имеет нечетное число пазов на полюс и фазу ($q=3$). Шаг цепной обмотки может быть только нечетным, так как если короткие стороны катушек помещены в пазах с нечетными номерами, то длинные стороны должны находиться в пазах с четными номерами, а разность между номерами пазов, в которых размещены стороны одной катушки, т. е. шаг обмотки, будет всегда нечетным числом. Все катушки цепной обмотки одинаковые и имеют одинаковый шаг, который в нашем случае равен 9, т. е. является диаметральным ($\tau=z/(2p)=36/4=9$).

На рис. 49, *б* представлена схема такой же цепной обмотки, но выполненной с укороченным шагом. Укорочение шага в цепных обмотках не может быть произвольным, поскольку шаг здесь всегда должен выражаться нечетным числом. Так, в рассматриваемой обмотке он равен семи ($y=7$), а коэффициент укорочения $k_у=$ $=y/\tau=7/9=0{,}78$. Следует, однако, отметить, что цепных обмоток с укороченным шагом и нечетным q желательно по возможности избегать, поскольку при этом получаются «несплошные» фазовые зоны и несимметричное магнитное поле.

На рис. 49, *в* приведена еще одна схема цепной обмотки, которая также размещена в 36 пазах ($z=36$), но рассчитана на шесть полюсов ($2p=6$). Число пазов на полюс и фазу у этой обмотки четное и равно двум ($q=2$), полюсное деление τ содержит шесть зубцовых делений ($\tau=z/(2p)=36/6=6$), а шаг равен пяти ($y=5$).

В данном случае цепная обмотка не может быть выполнена с диаметральным шагом. Действительно, поскольку обмотка цепная, то ее шаг y обязательно выражается нечетным числом. Но так как эта же обмотка должна одновременно иметь и диаметральный шаг, равный полюсному делению τ ($y=\tau$), которое здесь содержит

четное число зубцовых делений, то эти два условия несовместимы. Таким образом, применение в рассматриваемой обмотке укороченного шага (в действительности, как видно из рис. 49, *в*, он равен пяти) является необходимым, вынужденным.

По виду схемы цепной обмотки трудно сразу определить, на сколько полюсов она рассчитана, так как катушечные группы

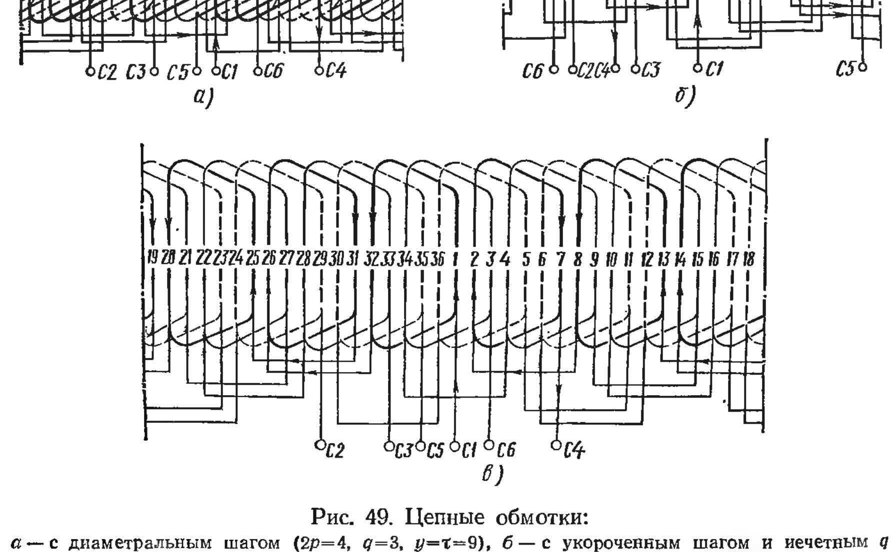


Рис. 49. Цепные обмотки:

а — с диаметральным шагом ($2p=4$, $q=3$, $y=\tau=9$), *б* — с укороченным шагом и нечетным q ($2p=4$, $q=3$, $y={}^{7}/_{9}\tau$), *в* — с укороченным шагом и четным q ($2p=6$, $q=2$, $y=5$)

здесь не выражены в явном виде, как у других типов однослойных обмоток. Однако проследив и обозначив на схеме стрелками направления токов в активных сторонах катушек одной из фаз (считая, например, что ток направлен от начала фазы к ее концу), можно выяснить число полюсов магнитного поля, создаваемого обмоткой (см. рис. 49, *а*).

Цепные обмотки довольно часто применяют в статорах небольших асинхронных двигателей, что обусловлено возможностью несколько сократить расход обмоточного провода за счет укороченного шага и более плотной укладки лобовых частей, которые у цепной обмотки получаются весьма компактными.

Двухслойные петлевые обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу широко применяются в статорах трехфазных машин переменного тока — асинхронных и синхронных. Поскольку эти обмотки *двухслойные*, то в каждом пазу сердечника в два слоя распола-

гаются активные стороны двух разных катушек, причем сторона одной катушки — на дне паза (нижний слой), а второй катушки — поверх нее, т. е. в части паза, прилегающей к воздушному зазору (верхний слой). Лобовые части каждой катушки тоже занимают

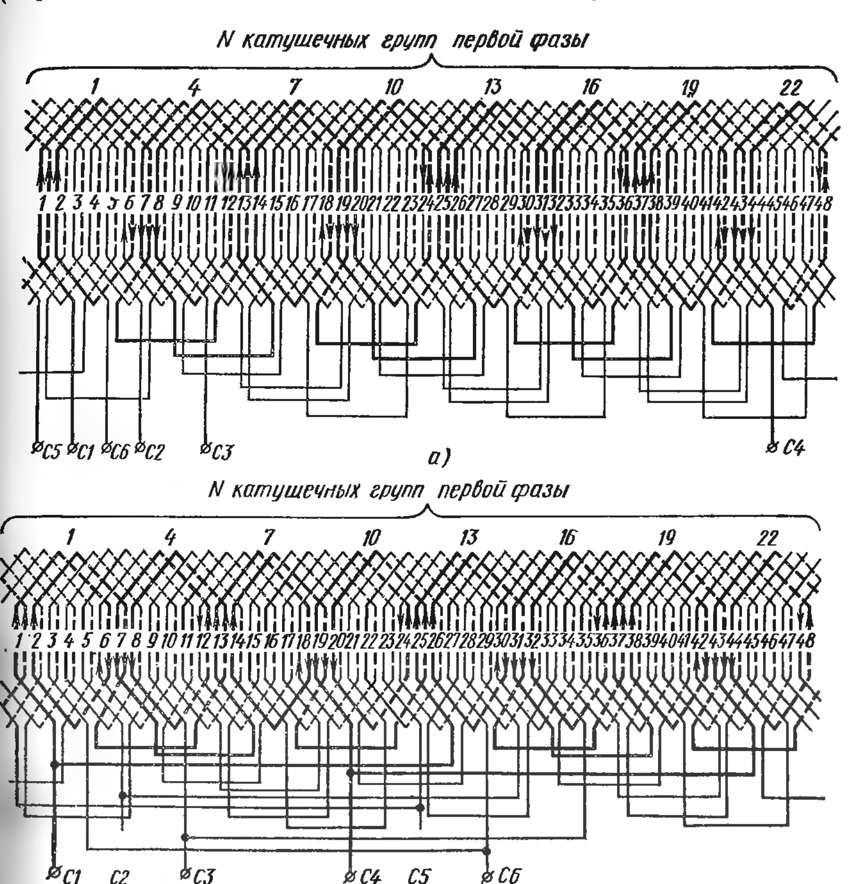


Рис. 50. Развернутые схемы трехфазных двухслойных петлевых обмоток ($2p=8$, $z=48$, $y=5$):
а — при $a=1$, *б* — при $a=2$

два слоя, а переход из одного слоя в другой осуществляется в головках катушек. *Петлевой* обмотка называется потому, что при обходе ее по схеме приходится как бы петлять то вперед, то назад.

Двухслойные петлевые обмотки дают возможность получить любое укорочение шага. Поэтому здесь можно выбрать любой шаг обмотки, наиболее благоприятный для данной машины, что позволяет добиться хороших электрических свойств двигателей и генераторов при одновременном сокращении расхода обмоточной

меди. Кроме того, применение обмотки рассматриваемого типа позволяет легко механизировать изготовление катушек, имеющих одинаковую форму.

Использование двухслойных петлевых обмоток дает возможность в ряде случаев применять один и тот же штамп для изготовления сердечников машин на разное число полюсов, а при ремонте — на том же сердечнике выполнить обмотку на другое по сравнению с первоначальным число полюсов.

На рис. 50, *а* приведена развернутая схема трехфазной ($m=3$) двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: $z=48$, $2p=8$, $y=5$, $a=1$. Рассмотрим некоторые особенности обмоток этого типа.

Прежде всего нетрудно заметить, что число катушек двухслойной обмотки равно числу пазов. Действительно, в каждом пазу находятся две активные стороны катушек, т. е. всего в обмотке $2z$ активных сторон. Поскольку каждая катушка содержит также две активные стороны, то количество катушек в обмотке будет равно $2z/2=z$, т. е. равно числу пазов. На каждую фазу обмотки приходится $z/m=z/3$ катушек.

Найдем число пазов на полюс и фазу обмотки: $q=z/(2pm)=48/(8\cdot3)=2$.

Ранее было сказано, что в обмотках, где q — целое число, каждая катушечная группа содержит q катушек. Количество катушечных групп в фазе обмотки можно определить, разделив число катушек в фазе на число катушек, содержащихся в каждой катушечной группе, т. е. $z/(mq)=48/(3\cdot2)=8=2p$. Иначе говоря, у рассматриваемых обмоток число катушечных групп в фазе равно числу полюсов. Общее число катушечных группы обмотки k будет втрое больше, т. е. $k=m\cdot2p=6p$.

Определим теперь полюсное деление τ. Так как обмотка рассчитана на $2p$ полюсов, то вся окружность сердечника содержит $2p$ полюсных делений. В то же время по окружности сердечника расположено z пазов. Следовательно, в одном полюсном делении τ содержится $z/(2p)$ пазов, т. е. $\tau=z/(2p)=48/8=6$ пазов.

Диаметральный шаг аналогичной обмотки, когда $y=\tau$, был бы равен шести. В рассматриваемой же схеме $y=5$, т. е. обмотка выполнена с укороченным шагом, причем коэффициент укорочения $k_{у}=y/\tau=5/6\approx0,8$. Такое укорочение шага существенно улучшает свойства машины. Однако при укороченном шаге необходимо несколько увеличить число витков в катушках, чтобы индуктируемая в них эдс была по величине такой же, как при диаметральном шаге.

Рассмотрим теперь расположение катушек и катушечных групп обмотки, а также соединения между ними, для чего проследим сначала образование одной из фаз, например первой.

Первая катушечная группа первой фазы состоит из двух последовательно соединенных катушек, занимающих своими активными сторонами верхние слои в пазах *1* и *2* и нижние слои в пазах *6* и *7*. Верхние слои пазов *3, 4, 5* и *6* заняты катушками двух

других фаз. В пазах же *7* и *8* верхние слои заняты опять-таки катушками первой фазы, входящими во вторую ее катушечную группу. Катушками этой же катушечной группы заняты нижние слои пазов *12* и *13*. Третья катушечная группа первой фазы занимает верхние слои пазов *13* и *14*, а также нижние слои пазов *18* и *19*.

Нетрудно заметить, что в рассматриваемой обмотке верхние слои первых двух соседних пазов (в общем случае q пазов) заняты активными сторонами катушек одной фазы, а дальше (с интервалом равным $2q$) это повторяется. Такое же чередование характерно и для нижних слоев пазов, но сдвиг между активными сторонами катушек одной и той же фазы в верхнем и нижнем слоях равен шагу обмотки y. Эти положения следует запомнить, так как ими обычно руководствуются при составлении схем двухслойных обмоток с целым q.

Начало первой фазы рассматриваемой обмотки выведено из верхнего слоя 1-го паза, а конец — из верхнего слоя 43-го паза. Начало последующей фазы должно, как известно, отстоять от начала предыдущей на $2\tau/3$ (120 эл. град.), т. е. на $2\cdot6/3=4$ паза. Следовательно, начало второй фазы будет выводиться из верхнего слоя паза *5* $(1+4=5)$, а начало третьей фазы — из верхнего слоя паза *9* $(5+4=9)$. То же правило относится и к концам фаз. Поэтому конец второй фазы выведен из верхнего слоя паза *47* $(43+4=47)$, а конец третьей — из верхнего слоя паза *3* $(47+4-48=3)$.

Рассмотрим теперь порядок соединения катушечных групп в фазах обмотки. Катушечные группы фазы соединены между собой таким образом, что проходящий по ним ток создает $2p$ (в нашем случае 8) правильно чередующихся полюсов. Для этого направления токов в соседних катушечных группах должны быть противоположными, т. е. если в первой катушечной группе ток обтекает катушки по направлению часовой стрелки, то во второй катушечной группе этой же фазы — против часовой стрелки, в третьей — снова по часовой стрелке, в четвертой — против и т. д. Такие направления токов при последовательном соединении катушечных групп будут в том случае, если конец первой катушечной группы (выходящий из нижнего слоя паза *7*) соединить с концом второй катушечной группы (выходящим из нижнего слоя паза *13*), начало второй катушечной группы (верхний слой паза *7*) — с началом третьей группы (верхний слой паза *13*) и т. д. Иначе говоря, в такой обмотке, соединяя последовательно катушечные группы, необходимо конец одной группы присоединять к концу следующей, а начало — к началу следующей.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в одном из пазов каждого полюсного деления нашей обмотки (пазы *6, 12, 18* и т. д.) направления токов в верхнем и нижнем слоях противоположны. Это следствие укорочения шага на один паз по сравнению с диаметральным. Если бы укорочение составило два паза, т. е. шаг был бы равен 4, то встречные направления токов были бы в

двух пазах каждого полюсного деления. При диаметральном шаге встречных направлений токов в одном и том же пазу не будет вовсе.

Рассмотренная нами схема обмотки выполнена без параллельных ветвей ($a=1$). Однако в зависимости от расчетных данных обмотки может потребоваться ее соединение в несколько параллельных ветвей. Необходимость в этом обычно возникает при больших токах в фазе.

На рис. 50, *б* показана схема обмотки, сходной с предыдущей, но имеющей две параллельные ветви в фазе ($a=2$).

Рис. 51 поясняет принцип соединения катушечных групп при образовании параллельных ветвей. Здесь приведены три схемы соединений катушечных групп одной фазы четырехполюсной обмотки. На схеме рис. 51, *а* все катушечные группы соединены последовательно, на схеме рис. 51, *б* — в две параллельные ветви, а на схеме рис. 51, *в* — в четыре параллельные ветви. При образовании параллельных ветвей направление токов в катушечных группах, а следовательно, и полярность полюсов магнитного поля остаются такими же, как при последовательном соединении катушечных групп обмотки. Наибольшее возможное число параллельных ветвей в фазе двухслойной обмотки с целым q равно числу катушечных групп в фазе, а значит, числу полюсов, т. е. $a_{max}=2p$.

Выяснив основные свойства и принципы построения двухслойных петлевых обмоток, построим развернутую схему такой обмотки (рис. 52) со следующими данными: $z=18$, $2p=2$, $a=1$, $m=3$.

Определим сначала число пазов на полюс и фазу: $q=z/(2pm)=18/(2\cdot3)=3$.

Выберем шаг обмотки. Для этого найдем полюсное деление: $\tau=z/(2p)=18/2=9$.

Обмотку выполним с укороченным шагом, приняв коэффициент укорочения $k_y\approx0{,}8$. Тогда шаг обмотки будет: $y=k_y\tau=0{,}8\cdot9=7{,}2\approx7$.

Итак, укороченный шаг обмотки принимаем равным 7, т. е. на два зубцовых деления меньше диаметрального.

Начертим теперь 18 сплошных вертикальных линий, изображающих активные стороны катушек, размещенные в верхнем слое

Рис. 51. Схемы соединений катушечных групп в фазе двухслойной четырехполюсной обмотки:
а — последовательное при $a=1$, *б* — смешанное при $a=2$, *в* — параллельное при $a=4$

пазов. В середине каждой линии делаем разрыв, в котором проставляем номер паза. Линии, изображающие активные стороны катушек, принадлежащих разным фазам, следует сделать отличающимися друг от друга, например, цветом: первая фаза — красным, вторая — синим, третья — зеленым. Размещая активные стороны катушек разных фаз в верхних слоях пазов, надлежит руководствоваться следующим правилом. Сначала размещаем в верхних слоях трех (так как $q=3$) первых пазов активные стороны катушек первой фазы, затем — три активные стороны катушек третьей фазы, далее — три стороны катушек второй фазы, после этого снова три активные стороны катушек первой фазы, затем — третьей, далее — второй.

Перейдем теперь к размещению активных сторон катушек в нижних слоях пазов. Эти стороны будем изображать штриховыми

Рис. 52. Составление схемы трехфазной двухслойной петлевой обмотки ($z=18$, $2p=2$, $a=1$) и соединение фаз звездой Y

(пунктирными) линиями, сохраняя цвета фаз, принятые ранее. Полагая, что в верхнем слое паза *1* лежит активная сторона первой катушки первой фазы, нетрудно сделать вывод, что вторая активная сторона этой катушки должна быть размещена в нижнем слое (так как обмотка двухслойная) паза *8* (так как шаг обмотки $y=7$, а $1+7=8$).

Теперь в пазу *8* (справа от сплошной) рисуем штриховую линию красного цвета, изображающую активную сторону первой катушки первой фазы, лежащую в нижнем слое этого паза. Далее распределение активных сторон катушек в нижних слоях пазов осуществляется так же, как и в верхних слоях: подряд в трех пазах — *8, 9* и *10* — в нижних их слоях укладывают активные стороны катушек первой фазы, рисуя их справа красными штриховыми линиями. В нижнем слое следующих трех пазов размещают активные стороны катушек третьей фазы, которые также рисуют справа штриховыми линиями, но уже зеленого цвета, далее в трех пазах — штриховые линии синего цвета, изображающие активные стороны катушек второй фазы, затем — опять три паза подряд с красными штриховыми линиями и т. д.

Следующий этап составления развернутой схемы обмотки — образование катушечных групп для одной из фаз, например первой. Поскольку число пазов на полюс и фазу в нашем случае равно трем ($q=3$), то каждая катушечная группа будет состоять из трех катушек. Первая катушка первой катушечной группы, как уже было сказано, лежит одной своей стороной в верхней слое паза *1*, а второй стороной — в нижнем слое паза *8* (так как $y=7$, а $1+7=8$). Катушка изображается в виде шестиугольника, напоминающего по виду действительную форму катушки. При изображении лобовых частей те их половины, которые примыкают к активной стороне катушки, лежащей в верхнем слое паза и обозначенной сплошной линией, также обозначают сплошными линиями, а половины лобовых частей, примыкающие к активной стороне, размещенной в нижнем слое паза, — штриховыми линиями. Таким же способом изображают остальные две катушки катушечной группы, лежащие соответственно в пазах *2—9* и *3—10*.

Для образования катушечной группы все три катушки необходимо соединить последовательно, т. е. конец первой катушки, выходящий из нижнего слоя паза *8*, следует присоединить к началу второй катушки, идущему в верхний слой паза *2*. Это соединение обозначаем перемычкой между соответствующими лобовыми частями, изображенными на нижнем участке схемы. Такой же перемычкой соединяем конец второй катушки, выходящий из нижнего слоя паза *9*, с началом третьей катушки, уходящим в верхний слой паза *3*. Итак, образована первая катушечная группа, начало которой выведено из верхнего слоя паза *1*, а конец — из нижнего слоя паза *10*. Таким же способом образуется и вторая катушечная группа первой фазы. Начало второй группы выводится из верхнего слоя паза *10*, а конец — из нижнего слоя паза *1*.

Поскольку наша обмотка двухполюсная, то ее фаза содержит две катушечные группы.

Приступим теперь к образованию фазы обмотки. Выше было сказано, что в двухслойной обмотке правильное чередование полюсов будет в том случае, если у катушечных групп, образующих фазы, соединяют начало с началом, а конец с концом. В фазе нашей обмотки всего две катушечные группы, поэтому конец первой группы соединяем с концом второй группы. Это показываем линией, соединяющей вывод из нижнего слоя паза *10* с выводом из нижнего слоя паза *1*. Наша обмотка не должна иметь параллельных ветвей ($a=1$), и катушечные группы в фазе надлежит соединить последовательно. Поэтому началом первой фазы обмотки будет служить начало первой катушечной группы, выведенное из верхнего слоя паза *1*, а концом первой фазы — начало второй катушечной группы этой фазы, выведенное из верхнего слоя паза *10*.

Схемы второй и третьей фаз обмотки строятся точно так же, как и схема первой фазы, поэтому здесь особых разъяснений не требуется. Определим лишь номера пазов, из которых должны быть выведены начала и концы двух остальных фаз. Как известно, начало последующей фазы трехфазной обмотки должно отстоять от начала предыдущей на $2\tau/3$, т. е. в нашем случае на $2 \cdot 9/3=6$ пазов. Так как начало первой фазы выведено из верхнего слоя паза *1*, то начало второй фазы следует вывести из верхнего слоя паза *7* ($1+6=7$), а начало третьей фазы — из верхнего слоя паза *13*. Конец второй фазы выводится из верхнего слоя паза *16* ($10+6=16$), а конец третьей фазы — из верхнего слоя паза *4* ($16+6-18=4$).

Построив самостоятельно несколько развернутых схем двухслойных петлевых обмоток с различными параметрами ($2p$, z, a, y), можно приобрести необходимые навыки составления таких схем, что крайне необходимо для электромонтера-обмотчика и изолировщика по ремонту электрических машин, так как с обмотками именно этого типа приходится иметь дело чаще всего.

При выполнении двухслойных петлевых обмоток, состоящих из мягких катушек, обычно заранее заготовляют не отдельные катушки, а целые катушечные группы, в которых катушки уже соединены между собой последовательно. Это не только существенно повышает производительность, но и намного облегчает работу по сборке схемы. Поскольку катушечные группы закладываются в сердечники уже готовыми, то они и являются тем основным элементом обмотки, с которым приходится иметь дело при выполнении соединений. Это обстоятельство позволяет пользоваться так называемыми упрощенными схемами обмоток, где первичным схемным элементом является не катушка, а целая катушечная группа. Составление упрощенных схем особенно целесообразно при выполнении многополюсных обмоток, размещенных в сердечниках с большим числом пазов. Развернутые схемы таких обмоток получаются весьма сложными и громоздкими, вычерчивание их требует много времени, а пользоваться ими при выполнении

обмоточных работ не всегда удобно, да и легко запутаться в большом количестве показанных здесь всех без исключения соединений.

Следует отметить, что при выполнении обмоток с жесткими катушками, каждую из которых заготовляют и укладывают в пазы отдельно, сначала, как правило, соединяют катушки в катушечные группы и только затем образуют фазы обмоток из катушечных групп. Таким образом, и здесь, после того как катушки соединены в катушечные группы, удобно использовать упрощенные схемы.

Существует несколько видов упрощенных схем, но чаще пользуются упрощенными торцевыми схемами, как наиболее наглядными. На рис. 53 *а* показана упрощенная торцевая схема для обмотки с $2p=2$ и $a=1$, т. е. той самой обмотки, развернутая схема которой приведена на рис. 52. Рассмотрим порядок построения упрощенной торцевой схемы.

Сначала определяют общее число катушечных групп k в обмотке, которое, как известно, равно числу полюсов, умноженному на 3. В нашем случае $k=2p\cdot 3=2\cdot 3=6$.

Затем проводят окружность и делят ее на число частей, равное числу катушечных групп обмотки, т. е. в нашем случае на 6.

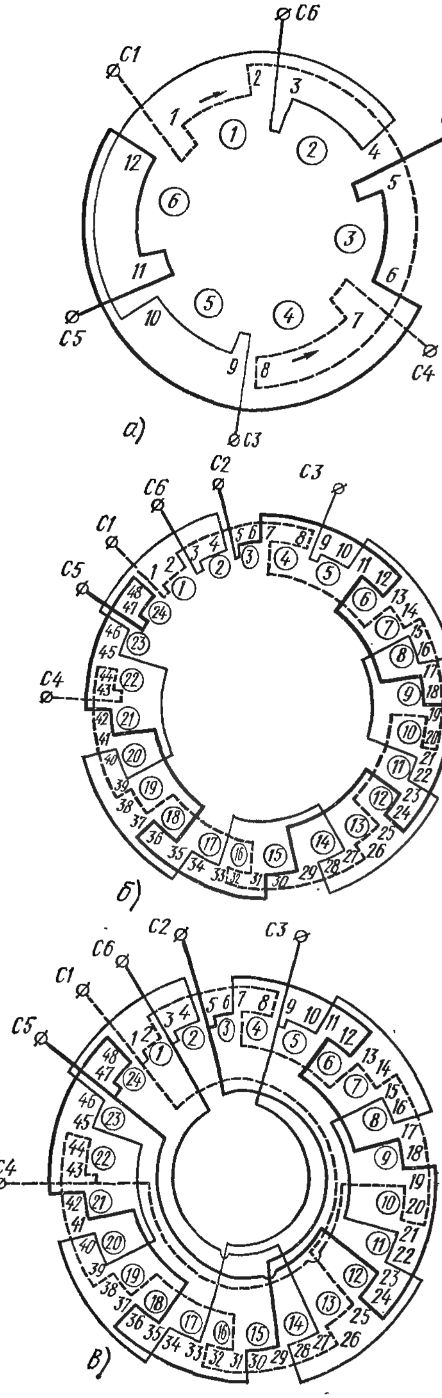


Рис. 53. Упрощенные торцевые схемы двухслойных трехфазных обмоток:
а — при $2p=2$, $a=1$; *б* — при $2p=8$, $a=1$; *в* — при $2p=8$, $a=2$

Каждая часть окружности — короткая дуга — изображает катушечную группу обмотки. Концы каждой дуги на схеме как бы отгибают: один — к центру окружности (вывод от верхнего слоя обмотки), второй — наружу (вывод от нижнего слоя). Катушечные группы нумеруют, причем счет их обычно ведут по направлению часовой стрелки. Затем разбивают катушечные группы по фазам. В общем случае, как это обусловлено порядком чередования фазных зон, к первой фазе относятся катушечные группы с номерами *1, 4, 7, 10* и т. д., ко второй фазе — с номерами *3, 6, 9, 12, 15* и т. д., к третьей фазе — с номерами *5, 8, 11, 14* и т. д., причем последняя катушечная группа здесь будет иметь порядковый номер 2. В нашем случае (для двухполюсной обмотки) к первой фазе относятся катушечные группы *1* и *4,* ко второй фазе — группы *3* и *6,* а к третьей — *5* и *2.*

После этого на схеме условно показывают направления токов в катушечных группах одной из фаз, обычно первой. В первой катушечной группе первой фазы направление тока условно показывают от начала (верхний вывод) к концу (нижний вывод), в следующей катушечной группе первой фазы (ее порядковый номер 4) направление тока должно быть противоположным, т. е. от конца (нижний вывод) к началу (верхний вывод). Таким образом, в нашей обмотке нижний вывод (конец) катушечной группы *1* следует соединить с нижним же выводом (концом) катушечной группы *4.* Началом первой фазы *(C1)* является начало (верхний вывод) катушечной группы *1,* а концом первой фазы *(C4)* — начало (верхний вывод) катушечной группы *4.*

Теперь найдем расположение начал и концов двух других фаз. Начало второй фазы должно отстоять от начала первой фазы на 120 эл. град., т. е. на две фазные зоны. Глядя на схему, нетрудно установить, что начало второй фазы *(C2)* должно быть выведено из верхнего слоя (начала) катушечной группы *3,* а конец *(C5)* — из верхнего же слоя (начала) катушечной группы *6.* Для третьей фазы начало *(C3)* будет выведено из верхнего слоя (начала) катушечной группы *5,* а конец фазы *(C6)* — из верхнего слоя (начала) катушечной группы *2.*

В центральной части упрощенной торцевой схемы также показывают соединение фаз обмотки, причем здесь катушечные группы условно изображают кружками.

На рис. 53, *б, в* показаны упрощенные торцевые схемы обмоток, развернутые схемы которых были приведены соответственно на рис. 50, *а, б.*

Упрощенные торцевые схемы являются универсальными, т. е. они будут неизменными для данного типа обмотки (при определенном числе полюсов и числе параллельных ветвей) независимо от шага обмотки и числа пазов сердечника, в которых она размещена.

Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу (с дробным *q*) чаще всего применяют в статорах синхронных генераторов при $q<3$. Здесь такие обмотки помогают приблизить форму кривой ин-

дуктируемой эдс к синусоиде. В статорах асинхронных двигателей стараются избегать обмоток с дробным q, так как их использование сопряжено с некоторым нарушением симметрии создаваемого машиной магнитного поля. Однако при перемотке двигателей на другую частоту вращения (другое число полюсов) иногда возникает необходимость использовать обмотки с дробным q.

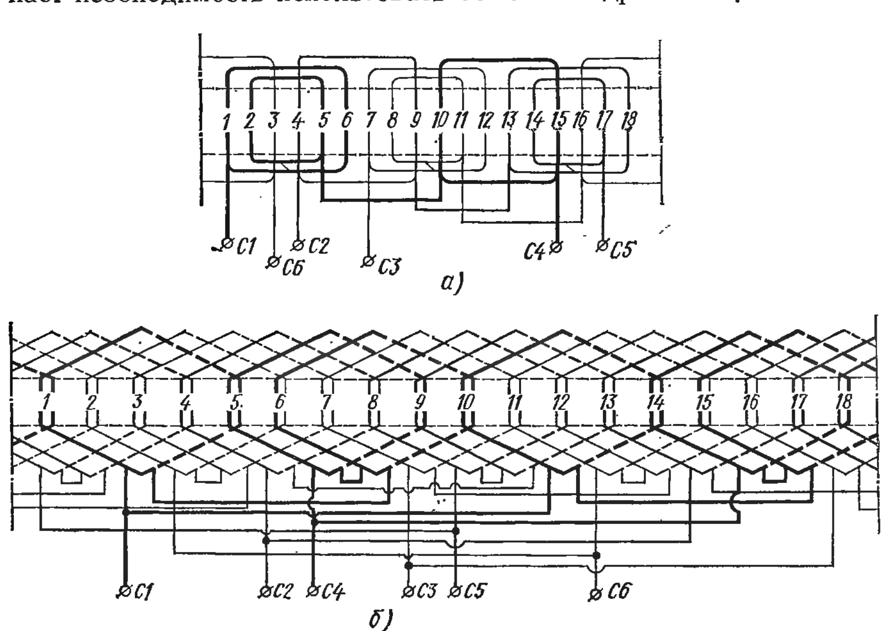


Рис. 54. Трехфазные обмотки с дробным q:
а — однослойная при $z=18$, $2p=4$, $q=1^1/_2$, $a=1$; *б* — двухслойная при $z=18$, $2p=4$, $q=1^1/_2$, $a=2$

Обмотки с дробным q могут быть как однослойными, так и двухслойными. В настоящее время преимущественное распространение получили двухслойные обмотки, которые могут быть легко выполнены с q практически любой дробности.

Ранее отмечалось, что число пазов на полюс и фазу q одновременно указывает на количество катушек в катушечных группах обмотки. Если q — целое число, то каждая катушечная группа обмотки содержит q катушек. Если же q — число дробное, то катушечные группы содержат разное количество катушек, но в среднем на одну катушечную группу приходится q катушек.

При составлении схем обмоток с дробным q необходимо так распределить между фазами катушечные группы с разным числом катушек, чтобы фазы обмотки были симметричными. Рассмотрим для примера показанную на рис. 54, *а* развернутую схему трехфазной четырехполюсной однослойной концентрической обмотки, размещенной в сердечнике с 18 пазами ($m=3$; $2p=4$; $z=18$; $a=1$).

Определим число пазов на полюс и фазу q: $q=z/(2pm)=$ $=18/(4\cdot 3)=1^1/_2$, т. е. эта обмотка с дробным q.

Поскольку рассматриваемая обмотка однослойная, т. е. каждая ее катушка занимает два паза, то общее количество катушек равно девяти, а в каждой фазе будет содержаться по три катушки. Как известно, в каждой фазе однослойной обмотки число катушечных групп равно числу пар полюсов. Следовательно, в нашем случае ($p=2$) фаза обмотки состоит из двух катушечных групп, а так как в фазе всего три катушки, то одна группа содержит две катушки (большая катушечная группа), а вторая — одну катушку (малая катушечная группа). Всего же обмотка состоит из шести катушечных групп, три из которых (большие) содержат по две катушки, а три другие (малые) — по одной.

На рис. 54, *б* приведена развернутая схема двухслойной обмотки, выполненной со следующими данными: $m=3$; $2p=4$; $z=18$; $a=2$. Здесь как и в предыдущем случае, $q=z/(2pm)=18/(4\cdot 3)=$ $=1^1/_2$.

Однако в двухслойных обмотках общее количество катушек равно числу пазов z, а число катушечных групп в фазе равно числу полюсов $2p$. Поэтому рассматриваемая обмотка состоит из 18 катушек, т. е. по шесть катушек на фазу, а число катушечных групп в фазе равно 4, причем две группы в фазе двухкатушечные, а две — однокатушечные. Каждая же из двух параллельных ветвей ($a=2$) состоит из двух последовательно соединенных катушечных групп, одна из которых (большая) содержит две катушки, а вторая (малая) — одну.

Обмотки с дробным q могут выполняться как из одиночных катушек, так и из намотанных непрерывным проводом катушечных групп.

Из приведенных выше примеров нетрудно видеть, что основная разница между обмотками с целым и дробным q состоит в том, что последние приходится составлять из катушечных групп, содержащих неодинаковое количество катушек. При этом для соблюдения симметрии обмотки в каждой фазе и параллельной ветви должно быть одинаковое число пазов. Обычно обмотки с дробным q содержат катушечные группы двух типов: малые, количество катушек в которых равно целой части числа q, и большие, где количество катушек на одну больше.

Так, если $q=1^1/_2$, как в рассмотренных выше обмотках, то половина катушечных групп — малые, состоящие из одной катушки, а другая половина — большие, состоящие из двух катушек, причем малые и большие катушечные группы чередуются.

Если $q=2^1/_2$, то малые катушечные группы содержат по две катушки, а большие — по три, причем количество малых и больших катушечных групп одинаково и они располагаются на сердечнике поочередно.

В обоих рассмотренных примерах среднее количество катушек, приходящееся на одну катушечную группу, равно q. Так как в обоих случаях обмотки состоят из равного количества малых и

больших катушечных групп, то в первом случае среднее число катушек, приходящееся на одну катушечную группу, равно $(1+2)/2=1^1/_2$, а во втором случае — $(2+3)/2=2^1/_2$.

Такое сравнительно простое сочетание катушечных групп, когда половина из них — малые, а вторая половина — большие, причем они располагаются на сердечнике поочередно, получается лишь в том случае, когда дробная часть числа q равна $^1/_2$.

Рассмотрим более сложный пример трехфазной двухслойной обмотки со следующими данными: $z=72$; $2p=10$. Для этой обмотки $q=z/(2pm)=72/(10\cdot3)=2^2/_5$.

В общем случае дробное q можно записать в виде суммы целого числа и правильной дроби: $q=b+c/d$.

В рассматриваемом примере $b=2$; $c=2$; $d=5$.

Как указано выше, в обмотках с дробным q малые катушечные группы состоят из количества катушек, равного целой части числа q, т. е. в нашем случае — из двух катушек, поскольку $b=2$. Количество катушек в больших катушечных группах будет на одну больше, чем в малых, т. е. равно $b+1$. Следовательно, в нашей обмотке большие катушечные группы состоят из трех катушек.

Соотношение между количеством больших и малых катушечных групп во всей обмотке и в каждой ее фазе, поскольку они симметричны, определяется дробной частью числа q. Действительно, чтобы дробная часть q была равна c/d, необходимо, чтобы из каждых d катушечных групп обмотки c групп были большими, а следовательно, $d—c$ — малыми. Для рассматриваемого нами примера это означает, что из каждых пяти ($d=5$) катушечных групп обмотки в целом или отдельной ее фазы две катушечные группы ($c=2$) являются большими и содержат по три катушки ($b+1=2+1=3$), а три катушечные группы ($d—c=5—2=3$) — малыми и содержат по два катушки ($b=2$).

Порядок чередования больших и малых катушечных групп в составе группировки из d (в нашем случае из пяти) катушечных групп особого значения не имеет и может быть выбран произвольно. Однако обычно стремятся чередовать большие и малые катушечные группы по возможности равномерно, например в нашем случае так: (2—3—2—3—2). В этой записи число 2 или 3 указывает на количество катушек в данной катушечной группе. Саму группировку (она показана в скобках) из d катушечных групп называют *периодом чередования.*

Рассматриваемая обмотка — двухслойная, поэтому в каждой ее фазе количество катушечных групп равно числу полюсов $2p$, т. е. равно 10. Следовательно, здесь каждая фаза обмотки содержит два периода чередования, а вся обмотка — шесть периодов.

Выбрав определенный порядок чередования больших и малых катушечных групп внутри периода, повторяют его столько раз, сколько число d содержится в полном количестве катушечных групп обмотки, т. е. для двухслойной обмотки $3\cdot2p/d$ раз. Так, в

нашем случае полное чередование катушечных групп по окружности статора можно записать следующим образом: (2—3—2—3—2) (2—3—2—3—2) (2—3—2—3—2) (2—3—2—3—2) (2—3—2—3—2) (2—3—2—3—2).

Двухслойные волновые обмотки часто применяются в роторах мощных асинхронных двигателей с контактными кольцами, так как позволяют сравнительно просто и надежно осуществить крепление лобовых частей. Используются эти обмотки также и в статорах мощных трехфазных машин низкого напряжения. В волновых обмотках в отличие от петлевых почти нет междукатушечных соединений, что при большом числе пар полюсов существенно уменьшает расход меди.

Обмотка получила название *волновой,* так как при обходе ее по схеме приходится, перемещаясь в одну и ту же сторону, например вправо, делать зигзаги (волны). Обычно обмотки этого типа являются стержневыми и выполняются из голых медных стержней прямоугольного сечения, соответствующим образом согнутых и обернутых изоляционными материалами.

На рис. 55, *а* показана схема волновой обмотки ротора с $z=24$ и $2p=4$. Число пазов на полюс и фазу $q=z/(2pm)=$ $=24/(4\cdot3)=2$. В волновых обмотках принято различать задний y_1 и передний y_2 шаги. Передний шаг выполняется со стороны выводов (контактных колец), задний — с противоположной стороны сердечника. Рассматриваемая обмотка выполнена с одинаковыми передним и задним шагами, равными диаметральному шагу: $y=\tau=z/(2p)=24/4=6$ или $y=\tau=mq=3\cdot2=6$.

Следует отметить, что укорочение шага в волновой обмотке не уменьшает расхода меди на лобовые части, поскольку сокращение шага с одной стороны сердечника вызывает соответствующее удлинение шага с противоположной стороны. Поэтому в волновых обмотках укорочение шага практически не применяют.

В рассматриваемой обмотке (рис. 55, *а*) вывод начала первой фазы сделан из верхнего стержня паза *1*. Поскольку шаг обмотки $y=6$ и обмотка двухслойная, то верхний стержень паза *1* по задней стороне сердечника соединяется с нижним стержнем паза *7*. Далее нижний стержень паза *7* по передней стороне сердечника соединен с верхним стержнем паза *13*. Следующее соединение — между верхним стержнем паза *13* и нижним стержнем паза *19*. Если и дальше продолжать построение обмотки, строго соблюдая диаметральный шаг ($y=\tau=6$), то следует нижний стержень паза *19* соединить по передней стороне сердечника с верхним стержнем паза *1* ($19+6-24=1$). Обмотка при этом замкнулась бы, охватив лишь $^1/_4$ часть проводников данной фазы. Чтобы избежать этого, при подходе к пазу, с которого началась обмотка, т. е. при окончании одного обхода обмотки вокруг сердечника, укорачивают или удлиняют ее шаг на один паз. Соответственно обмотку называют с укороченными или с удлиненными переходами.

Рассматриваемая обмотка выполнена с укороченными переходами, поэтому здесь нижний стержень паза *19* соединен с верхним

стержнем паза *24*. Далее второй обход обмотки вокруг сердечника идет рядом с первым. Верхний стержень паза *24* соединен с нижним стержнем паза *6*, который затем соединяется с верхним стержнем паза *12*, а он — с нижним стержнем паза *18*.

Сделав два обхода сердечника (в общем случае q обходов), мы соединили между собой и включили в обмотку лишь половину проводников данной фазы. Выполненные соединения образовали «волны», создающие как бы полувитки обмотки. Чтобы образова-

Рис. 55. Двухслойные волновые обмотки:

а — с укороченными переходами ($z=24$, $2p=4$, $a=1$), *б* — с удлиненными переходами ($z=24$, $2p=4$, $a=1$), *в* — с удлиненными и укороченными переходами ($z=36$, $2p=4$, $a=1$)

лись полные витки и в обмотку были включены все проводники фазы, выполняют переходное соединение, позволяющее делать обход сердечника в обратном направлении.

Для этого в нашей обмотке нижний стержень паза *18* соединяют с нижним же стержнем паза *24* с помощью переходного соединения *I — IV*, размещенного на передней стороне сердечника.

Далее обмотка делает q (в нашем случае $q=2$) обходов в обратном направлении с тем же шагом $y=6$ и укороченными переходами при окончании каждого обхода сердечника. Таким образом, нижний стержень паза *24* соединяется по задней стороне сердечника с верхним стержнем паза *18* (так как $24-y=24-6=18$), который в свою очередь соединен с нижним стержнем паза *12*, а тот — с верхним стержнем паза *6*. Это один обход сердечника в обратном направлении. Теперь делаем укороченный переход, соединяя верхний стержень паза *6* с нижним стержнем паза *1*. Далее делается второй обход сердечника в обратном направлении с соблюдением диаметрального шага $y=\tau=6$. Для этого нижний стержень паза *1* соединяют с верхним стержнем паза *19*, тот — с нижним стержнем паза *13*, который соединяется с верхним стержнем паза *7*. От второго — с передней стороны сердечника — конца верхнего стержня паза *7* делается вывод конца первой фазы.

Рассматривая схему на рис. 55, *а*, где показано размещение стержней одной фазы волновой обмотки, нетрудно заметить, что фаза состоит как бы из четырех ($2p=4$) катушечных групп, каждая из которых содержит две ($q=2$) катушки.

На рис. 55, *б* показана схема двухслойной волновой обмотки с $z=24$ и $2p=4$, но в отличие от предыдущего случая — с удлиненными переходами и с двумя параллельными ветвями ($a=2$). Обмотки с удлиненными переходами применяют реже, чем с укороченными, поскольку при этом требуется несколько больше обмоточной меди. Однако удлиненные переходы позволяют при ремонте обмотки вновь использовать ту же медь, выполняя из нее теперь уже обмотку с укороченными переходами. Поэтому некоторые заводы выпускают асинхронные двигатели с такими обмотками на роторе.

По виду схемы обмотки легко установить, выполнена она с укороченными или с удлиненными переходами. Так, если переходы укороченные, то каждый последующий обход обмотки смещается влево от предыдущего и начало катушечной группы находится справа от нее (см. рис. 55, *а*). Если же переходы удлиненные, то обходы смещены вправо и начало катушечной группы находится от нее слева (см. рис. 55, *б*).

Параллельные ветви в обмотках роторов образуют главным образом в тех случаях, когда при $a=1$ получается слишком большим напряжение между контактными кольцами. Следует отметить, что в двухслойных волновых обмотках с целым q наибольшее возможное количество параллельных ветвей равно числу полюсов ($a_{max}=2p$).

На рис. 55, *в* показана схема обмотки ротора при $z=36$; $2p=$

$=4$; $q=3$. Схема эта характерна тем, что первые q (в нашем случае три, так как $q=3$) обходов обмотки вокруг сердечника выполнены с удлиненными переходами, а затем после перемычки (для первой фазы перемычки *I—IV*), т. е. при обратном направлении обходов, переходы выполняются укороченными. Такую обмотку называют с *удлиненными и укороченными переходами.* Ее достоинство — отсутствие пересечения перемычек с выводами фаз, что более удобно при выполнении обмотки.

Как отмечалось выше, волновые обмотки зачастую используются в фазных роторах асинхронных двигателей, где важна не только электрическая симметрия фаз, но также возможно более точное совпадение центра тяжести ротора с осью его вала, чтобы избежать появления значительных несбалансированных масс. Поэтому при выполнении роторной обмотки стремятся ее выводы и перемычки разместить равномерно по окружности сердечника. В частности, выводы от начал фаз стараются разместить под углом 120°, как это и показано на схемах рис. 55, *а, б, в.* Тогда равномерно по окружности сердечника располагаются также выводы от концов фаз и перемычки в фазах обмотки.

Поскольку рассмотренные обмотки четырехполюсные ($2p=4$), то здесь 120° соответствует $p\cdot 120=2\cdot 120=240$ эл. град. Чтобы не нарушалась электрическая симметрия обмотки, начала ее фаз могут быть сдвинуты на 120 и 240 эл. град., а также на 120 и 240 плюс любое целое число раз по 360 эл. град. Таким образом, все рассмотренные обмотки имеют не только симметричное расположение выводов фаз и перемычек по окружности сердечника, но одновременно и симметричное расположение фаз в магнитном поле машины.

Однако не всегда возможно соблюсти одновременно требование геометрической и электрической симметрии. Так, если число пар полюсов равно или кратно трем, то выводы фаз и перемычки не удается равномерно расположить по окружности сердечника, поскольку фазные зоны, смещенные относительно друг друга на 120°, принадлежат одной и той же фазе. В таких случаях схему обмотки строят с соблюдением электрической симметрии, а выводы фаз смещают так, чтобы они располагались по окружности сердечника по возможности равномернее.

Двухслойные волновые обмотки выполняются не только с целым, но также и с дробным q, причем чаще всего дробная часть числа q в этом случае выражается половиной. К волновым обмоткам с дробным q приходится прибегать при переделке двигателей с фазными роторами на другое число полюсов. На рис. 56 приведена схема обмотки с $z=30$ и $2p=4$. Здесь $q=z/(2pm)=$ $=30/(4\cdot 3)=2^1/_2$. Выше было сказано, что обычно в волновых обмотках не прибегают к укорочению шага и выбирают его равным полюсному делению τ. Так как $\tau=z/(2p)=mq$, то в трехфазной обмотке $\tau=3q$. Поскольку в нашей обмотке $q=2^1/_2$, то полюсное деление $\tau=3\cdot 2^1/_2=7^1/_2$. Но шаг обмотки может выражаться лишь целым числом, поэтому в волновых обмотках с дробным

a приходится делать разными задний шаг y_1 и передний шаг y_2.

Так, в рассматриваемой обмотке задний шаг $y_1=7$, т. е. сделан укороченным на $1/2$ пазового деления, а передний шаг $y_2=8$, т. е. настолько же удлинен по сравнению с диаметральным шагом. В среднем же шаг обмотки равен диаметральному: $(y_1+y_2)/2=$ $=(7+8)/2=7^1/_2=\tau$.

Многоскоростные обмотки применяются в статорах трехфазных асинхронных электродвигателей, рассчитанных на несколько сту-



Рис. 56. Волновая обмотка с дробным и укороченными переходами ($z=30$, $2p=4$, $q=2^1/_2$, $y_1=7$, $y_2=8$, $y_{2укор}=7$)

пеней скорости (частоты вращения вала). Известно, что частота вращения n_c магнитного поля, созданного трехфазной обмоткой при питании ее трехфазным током, выражается формулой: $n_c=$ $=60f/p$, где f — частота тока, питающего обмотку; p — число пар полюсов обмотки.

Из формулы видно, что при постоянной частоте f питающей сети добиться изменения частоты вращения магнитного поля можно, изменяя число полюсов обмотки. Если такая обмотка помещена на статоре асинхронного электродвигателя, у которого, как известно, ротор вращается почти с той же частотой, что и создаваемое статором магнитное поле (скольжение составляет обычно 2—6%), то при изменении числа полюсов обмотки статора соответственно изменится и скорость ротора. Вот почему обмотки с переключением на разное число полюсов получили наименование многоскоростных.

Существует несколько видов многоскоростных обмоток и различные способы их переключений, дающие возможность изменять в разных соотношениях число полюсов создаваемого обмоткой магнитного поля. Однако наибольшее распространение среди многоскоростных обмоток получили такие, где число полюсов при переключении изменяется в два раза.

На рис. 57 представлены схемы, поясняющие принцип такого переключения. Здесь для одной фазы обмотки показано ее преобразование из четырехполюсной в двухполюсную. Как видно из ри-

сунка, при последовательном согласном включении катушек ими создается четырехполюсное магнитное поле (рис. 57, *а*), а при последовательном встречном (рис. 57, *б*) и параллельном (рис. 57, *в*) включении — двухполюсное.

Именно такой метод — когда фазы обмоток разделяются надвое и в их частях при переключении изменяется направление тока — чаще всего используется в многоскоростных обмотках.

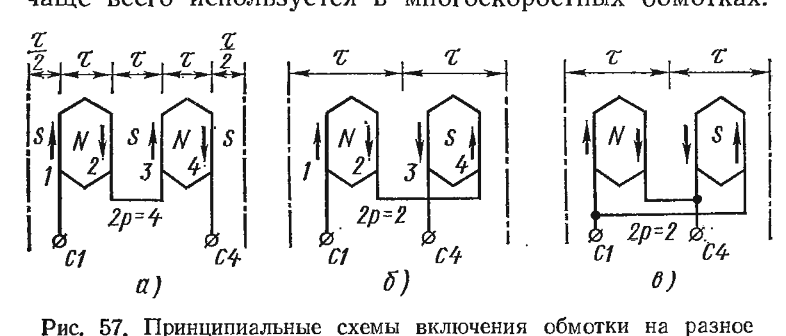


Рис. 57. Принципиальные схемы включения обмотки на разное число полюсов

Рассматривая рис. 57, нетрудно также заметить, что когда обмотка включена на большее число полюсов, шаг ее близок к полюсному делению τ, когда же обмотка переключается на меньшее число полюсов, то ее шаг получается сильно укороченным — близким к половине полюсного деления, т. е. к τ/2.

Необходимо указать еще одну особенность двухскоростных обмоток: чтобы неизменным оставалось направление вращения двигателя, работающего как на меньшей, так и на большей скорости, при переключении обмотки следует изменить порядок чередования фаз, т. е. поменять местами («перекрестить») два из трех подключаемых к обмотке проводов (фаз) сети. Дело в том, что если при большом числе полюсов расстояние между началами фаз обмотки составляло 120 эл. град., то при переключении на вдвое меньшее число полюсов это же расстояние становится равным 60 эл. град. Чтобы и при меньшем числе полюсов между соответствующими выводами фаз было 120 эл. град., начало второй фазы следует перенести на расстояние вдвое большее, чем раньше, т. е. перенести туда, где раньше было начало третьей фазы. Рассуждая таким образом, нетрудно убедиться, что начало третьей фазы после переключения обмотки приходится на фазную зону, ранее принадлежавшую второй фазе.

Следует отметить, что многоскоростные обмотки используют, как правило, в статорах асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, так как здесь нет необходимости в переключении роторной обмотки, что чрезмерно бы усложнило машину.

На рис. 58 показана схема двухслойной петлевой двухскоростной обмотки, переключающейся с восьми на четыре полюса ($2p = {}^8/_4$). При этом схема соединения фаз обмотки меняется с

треугольника на двойную звезду (Δ/*YY*). Обмотка размещена в 36 пазах ($z=36$), шаг обмотки $y=5$ (1—6). При включении обмотки на восемь полюсов шаг ее является удлиненным, так как $\tau_8=z/(2p)=36/8=4^1/_2$ (т. е. $y>\tau_8$). Когда же обмотка включается на четыре полюса, полюсное деление становится равным девяти ($\tau_4=36/4=9$), и в этом случае шаг обмотки лишь немногим больше половины полюсного деления, т. е. сильно укорочен.

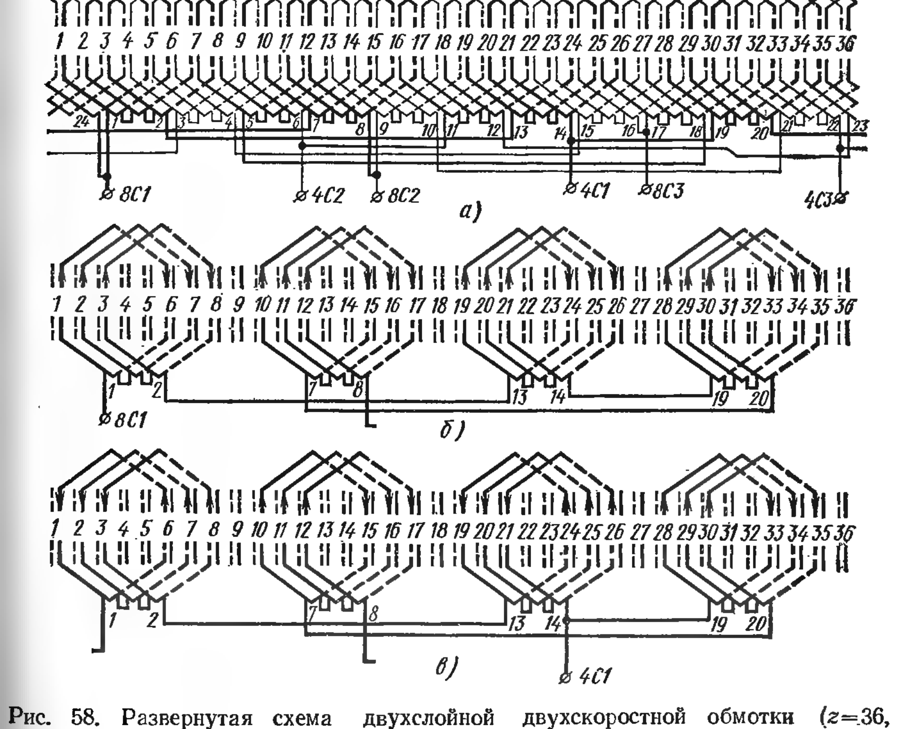


Рис. 58. Развернутая схема двухслойной двухскоростной обмотки ($z=36$, $2p=8/4$, $a=1$. Соединение фаз Δ/YY):

а — общая развернутая схема, *б* — включение обмотки на $2p=8$ (показана одна фаза), *в* — включение обмотки на $2p=4$ (показана одна фаза)

На рис. 58, *а* дана общая развернутая схема обмотки, а на рис. 58, *б*, *в* показаны схемы соединений и направления токов в фазе при включении обмотки соответственно на восемь и четыре полюса.

Изменять число полюсов двигателя можно не только при укладке на статоре одной многоскоростной обмотки, но также и при размещении в пазах статора двух разных обмоток. Комбинация этих способов дает возможность получить двигатели с достаточно большим числом ступеней регулирования скорости. Обычно двухскоростные двигатели с изменением числа полюсов вдвое ($2p=$

$=^4/_2$; $^8/_4$; $^{12}/_6$) имеют на статоре одну двухслойную переключающуюся обмотку. Если же число полюсов двухскоростного двигателя меняется не в два раза (например, при $2p=^6/_4$), то двигатель, как правило, имеет две отдельные обмотки, расположенные в одних и тех же пазах. В этом случае обмотки обычно выполняются однослойными, с концентрическими катушками и последовательным соединением катушечных групп ($a=1$), а фазы соединяют в звезду, чтобы избежать замкнутых контуров при включении в сеть второй обмотки.

Двигатели на три и четыре скорости (частоты вращения) обычно также имеют две отдельные обмотки. При трех скоростях (частотах) вращения одна из обмоток переключается с отношением чисел полюсов 1 : 2, а промежуточное число полюсов получают за счет второй обмотки. У четырехскоростных двигателей каждая из двух обмоток переключается на два разных числа полюсов, например одна обмотка — с 12 на 6 полюсов ($2p=^{12}/_6$), а вторая — с 8 на 4 ($2p=^8/_4$).

§ 26. Схемы однофазных обмоток

Однофазные обмотки используются главным образом в статорах однофазных асинхронных электродвигателей. Если такой двигатель при неподвижном роторе подключить к сети, то его однофазная статорная обмотка будет создавать не вращающееся, а пульсирующее магнитное поле, которое не сдвинет ротор с места. Чтобы ротор начал вращаться, двигатель должен быть снабжен пусковым устройством, назначение которого — создать начальный (пусковой) вращающий момент.

На практике достаточно широкое применение получили несколько видов однофазных асинхронных двигателей с разными пусковыми устройствами: с короткозамкнутым витком на полюсе, с пусковой обмоткой, конденсаторные двигатели.

Однофазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым витком на полюсе и устройство их обмоток рассмотрены в гл. II.

Однофазные асинхронные электродвигатели с пусковыми обмотками имеют статоры по конструкции такие же, как у трехфазных машин, но здесь в пазах сердечника размещены две однофазные обмотки, смещенные друг относительно друга на угол 90 эл. град. Одна из этих обмоток — главная, которую называют также рабочей или основной фазой, занимает $^2/_3$ пазов статора. Она остается включенной в сеть на все время работы двигателя. Вторая обмотка — вспомогательная, называемая также пусковой фазой, включается только на время пуска и после разгона ротора отключается. Пусковая обмотка занимает $^1/_3$ пазов статора.

Для создания вращающегося магнитного поля при пуске двигателя должен быть обеспечен сдвиг между векторами токов

в пусковой и рабочей обмотках, что может быть достигнуто путем включения активного сопротивления $R_п$ (рис. 59, *а*). Однако полученный таким образом сдвиг между векторами токов в обмотках будет меньше $^1/_4$ периода, поэтому вращающееся магнитное поле при пуске является не круговым, а эллиптическим, что ухудшает пусковые свойства двигателя.

Пусковая обмотка однофазного асинхронного двигателя рассчитана на кратковременное включение (обычно до 3 с) только на период пуска, поэтому она выполняется из более тонкого провода и обладает значительно бо́льшим активным сопротивлением, чем рабочая обмотка. Используя это обстоятельство, а также принимая специальные искусственные меры по увеличению активного сопротивления пусковой обмотки, можно добиться достаточно большого сдвига между векторами тока в обеих обмотках двигателя, не прибегая к включению внешнего пускового сопротивления. Двигатель, у которого пусковое сопротивление заключено в самой пусковой обмотке, называется *двигателем с встроенным пусковым сопротивлением* или *двигателем с повышенным сопротивлением пусковой фазы* (микродвигатели серии АОЛБ).

Рис. 59. Схемы включения однофазных асинхронных двигателей с пусковыми обмотками:
а — с пусковым сопротивлением, *б* — с пусковой емкостью

Если последовательно с пусковой обмоткой двигателя включается конденсатор (пусковая емкость $C_п$), как это показано на рис. 59, *б*, то сдвиг между векторами токов в обеих обмотках статора будет близок к $^1/_4$ периода, а вращающееся магнитное поле — практически круговым. Такие двигатели (микродвигатели серии АОЛГ) развивают достаточно большой пусковой момент и могут использоваться при тяжелых условиях пуска приводимого ими в движение механизма.

Порядок составления схем для статорных обмоток однофазных асинхронных двигателей с пусковыми обмотками разберем на примере четырехполюсной машины ($2p=4$) со статором, имеющим 24 паза ($z=24$).

Главная фаза обычно занимает $^2/_3$ пазов, т. е. $z_с=2 \cdot z/3= =2 \cdot 24/3=16$ пазов. Вспомогательная (пусковая) фаза размещается в $^1/_3$ пазов, т. е. $z_в=1 \cdot z/3=1 \cdot 24/3=8$ пазов. Число пазов на полюс будет для главной фазы $q_с=z_с/(2p)=16/4=4$, для вспомогательной фазы $q_в=z_в/(2p)=8/4=2$. Таким образом $q_в=q_с/2$. Нанесем на чертеже (рис. 60, *а*) 24 вертикальные линии, соответствующие пазам, и пронумеруем их. Затем разобьем пазы по фазным зонам, помня, что фазная зона главной фазы содержит $q_с=4$ паза, а вспомогательной фазы $q_в=2$ паза. Далее поставим направление токов в пазах главной фазы (выделены жирными

линиями), руководствуясь правилом, что под соседними полюсами направление токов должно быть противоположным.

В соответствии с поставленными направлениями токов можно по-разному соединить активные стороны катушек и образовать различные по типу обмотки. Так, при диаметральном шаге $y = \tau = z/(2p) = 24/4 = 6$, одинаковом для всех катушек, получим про-

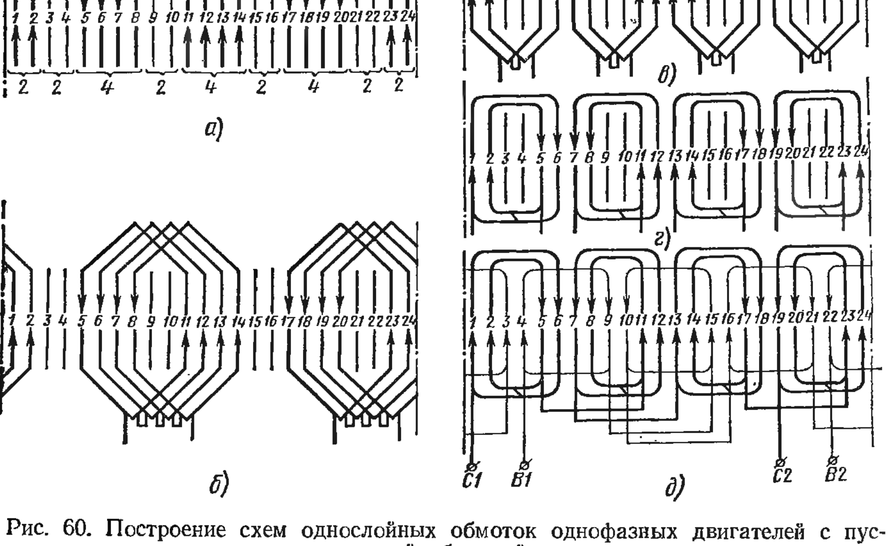


Рис. 60. Построение схем однослойных обмоток однофазных двигателей с пусковой обмоткой:

а — последовательность чередования пазов главной и вспомогательной фаз, направление тока в активных сторонах катушек главной фазы, *б* — катушечные группы простой шаблонной обмотки, *в* — катушечные группы шаблонной обмотки «вразвалку», *г* — катушечные группы концентрической обмотки «вразвалку», *д* — схема главной и вспомогательной фаз концентрической обмотки «вразвалку»

стую шаблонную обмотку с числом катушечных групп, равным числу пар полюсов p (рис. 60, *б*). Но такая обмотка в данном случае невыгодна из-за больших лобовых частей катушек и значительного расхода обмоточного провода. Разделив каждую катушечную группу на две полугруппы, можно образовать шаблонную обмотку «вразвалку» (рис. 60, *в*), имеющую более короткий шаг $y=4$ (1—5) и меньшую длину витка. Для рассматриваемого случая наиболее удобной, пожалуй, будет концентрическая обмотка «вразвалку» (рис. 60, *г*) из-за наибольшей компактности лобовых частей (нет перекрещиваний).

Образовав катушечные группы или полугруппы, соединяют их так, чтобы при обходе обмотки от начала фазы (которое может быть выведено из начала любой группы) к концу направление токов в катушках было таким, как обозначено стрелками, а

соединения между группами были возможно короче (рис. 60, *д*). Обмотка может быть с последовательным соединением катушечных групп или иметь параллельные ветви. Соединение катушечных групп и образование параллельных ветвей здесь производится по тем же правилам, что и для трехфазных обмоток.

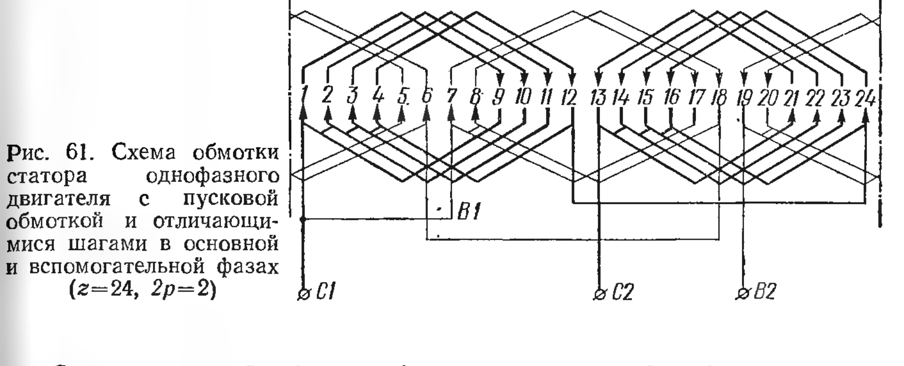


Рис. 61. Схема обмотки статора однофазного двигателя с пусковой обмоткой и отличающимися шагами в основной и вспомогательной фазах ($z=24$, $2p=2$)

Схема пусковой обмотки (вспомогательной фазы) строится по тем же правилам, которые использовались при составлении схемы главной фазы. Шаг пусковой обмотки может быть таким же, как у рабочей обмотки, или иным, как на рис. 61.

У двигателей с встроенным пусковым сопротивлением в качестве искусственного средства, повышающего активное сопротивление пусковой фазы, зачастую используют бифилярную обмотку, т. е. часть витков в катушке наматывается встречно. Эти витки нейтрализуют намагничивающее действие такого же количества витков, намотанных в основном направлении, но активное сопротивление пусковой обмотки существенно растет. Катушки пусковой фазы при этом состоят из двух частей: основной секции с большим числом витков, намотанных в основном направлении и определяющих полярность создаваемого магнитного поля, и бифилярной секции — с меньшим числом витков.

На рис. 62, *а* показана такая же по схеме обмотка, как и построенная нами ранее (см. рис. 60, *д*), но с бифилярными секциями в пусковой фазе (катушки с бифилярными секциями показаны в обычно принятом условном изображении). На рис. 62, *б* приведена торцевая схема этой обмотки. Торцевыми схемами часто пользуются при выполнении обмоток однофазных асинхронных двигателей.

В однофазных однослойных обмотках «вразвалку» шаги обычно выбирают так, чтобы катушечная полугруппа рабочей обмотки охватывала $q_в$ активных сторон катушек пусковой обмотки, а катушечная полугруппа пусковой обмотки — q_c активных сторон катушек рабочей обмотки. Если q_c и $q_в$ четные, то обе обмотки располагаются симметрично, если же число пазов на полюс нечетное, то обмотка несимметрична. Так, на рис. 63 приведена схема однослойной шаблонной обмотки статора при $z=18$; $2p=2$;

$q_c=6$; $q_в=3$. Здесь одна катушечная полугруппа пусковой обмотки состоит из двух катушек, а вторая — из одной. Разными являются и шаги этих полугрупп: $y_{1в}=7$; $y_{2в}=8$.

При составлении схем обмоток стараются получить укорочение шага катушек приблизительно до $2\tau/3$, так как при этом

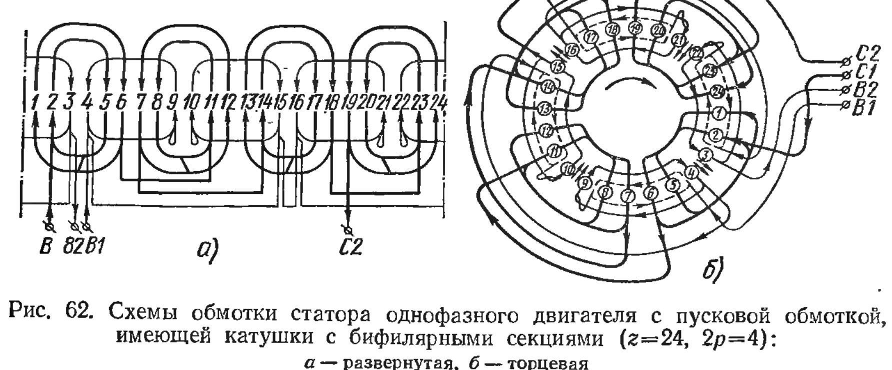


Рис. 62. Схемы обмотки статора однофазного двигателя с пусковой обмоткой, имеющей катушки с бифилярными секциями ($z=24$, $2p=4$):
а — развернутая, *б* — торцевая

уменьшается действие третьей гармоники. Однако в однослойных обмотках это удается сделать далеко не всегда, поэтому все чаще стали прибегать к двухслойным обмоткам, хотя это и усложняет укладку катушек в пазы.

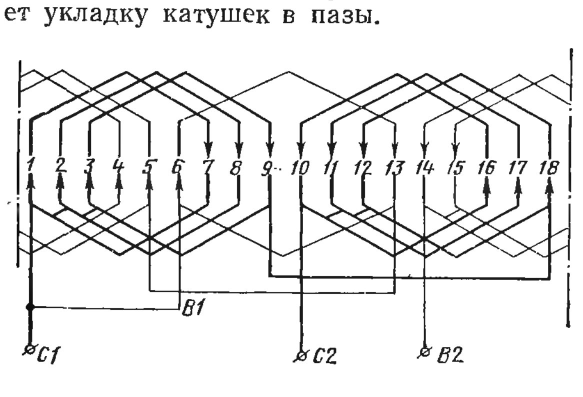


Рис. 63. Схема обмотки статора однофазного двигателя с пусковой фазой, имеющей полугруппы с разным числом катушек ($z=18$, $2p=2$, $q_c=6$, $q_в=3$)

Последовательность составления схем двухслойных обмоток статоров однофазных двигателей с пусковой обмоткой проследим на примере, когда $z=24$; $2p=4$ (рис. 64, *а*). Сначала находят число пазов на полюс основной (рабочей) и вспомогательной (пусковой) обмоток:

$$q_c = \frac{\frac{2}{3}z}{2p} = \frac{\frac{2}{3}\cdot 24}{4} = 4; \quad q_в = \frac{\frac{1}{3}z}{2p} = \frac{\frac{1}{3}\cdot 24}{2p} = 2.$$

Далее определяют шаг обмотки, причем здесь он одинаков для катушек основной и вспомогательной фазы:

$$y = y_{\text{с}} = y_{\text{в}} = \frac{2}{3}\,\tau = \frac{2 \cdot z}{3 \cdot 2p} = \frac{2}{3} \cdot \frac{24}{4} = 4 \text{ (шаг 1 — 5)}.$$

Теперь можно приступить к вычерчиванию схемы. Рисуем $z+y$, т. е. в нашем случае $24+4=28$, вертикальных линий, изобра-

Рис. 64. Схемы двухслойных однофазных обмоток с пусковой обмоткой: *а* — при $z=24$, $2p=4$, $q_{\text{с}}=6$, $q_{\text{в}}=2$, $y=y_{\text{с}}=y_{\text{в}}=4$ (1—5); *б* — при $z=18$, $2p=2$, $q_{\text{с}}=6$, $q_{\text{в}}=3$, $y=y_{\text{с}}=y_{\text{в}}=6$ (1—7)

жающих пазы, и ставим их номера: сначала от 1-го до 24-го, после чего от 1-го до 4-го (в общем случае от 1 до z, а затем от 1 до y).

Размещаем в верхнем слое пазов (сплошные линии), начиная с 1-го паза, сначала $q_c=4$ активных сторон катушек основной фазы (жирные линии), затем $q_в=2$ активных сторон катушек вспомогательной фазы (нежирные линии) и повторяем это $2p=4$ раз. Таким образом, заполним верхние слои всех $z=24$ пазов. Далее поставим направление токов в верхних слоях катушек, руководствуясь известным правилом, что на соседних полюсных делениях направления токов должны быть противоположными. Затем, начиная с $1+y=5$-го паза, размещаем активные стороны катушек в нижнем слое пазов (штриховые линии): сначала $q_c=4$ активных сторон катушек основной фазы (жирные штриховые линии), а затем $q_в=2$ активных сторон катушек вспомогательной фазы (нежирные штриховые линии) и т. д., всего $2p=4$ раз. При этом у изображенных на схеме первых четырех пазов ($y=4$) окажутся заполненными только верхние слои, а у тех же самых пазов, но изображенных справа на схеме, будут заполнены только нижние слои. Таким изображением развернутой схемы пользуются довольно часто, так как оно очень наглядно благодаря тому, что катушки на схеме не «режутся».

Далее изображаем лобовые части катушек по известным правилам и соединяем в катушечные группы отдельно катушки основной и вспомогательной фаз. Начало основной фазы выводим из верхнего слоя паза *1*. Катушечные группы основной фазы соединяем между собой так, чтобы направления тока в них при обходе от начала фазы к концу совпадало с нанесенными ранее стрелками. На схеме показано последовательное соединение катушечных групп ($a=1$), но обмотка может иметь и несколько параллельных ветвей (например, $a=2$ или $a=4$).

Точно так же соединяем между собой катушечные группы вспомогательной (пусковой) фазы, начало которой выводится из верхнего слоя $q_c+1=4+1=5$-го паза.

На рис. 64, *б* дана схема двухслойной обмотки статора однофазного двигателя с пусковой обмоткой при $z=18$; $2p=2$; $q_c=6$; $q_в=3$; $y=y_c=y_в=6\,(1—7)$.

У рассмотренных нами однофазных двигателей пусковая обмотка (вспомогательная фаза), занимающая $^1/_3$ пазов статора, после окончания процесса пуска отключается от сети и в дальнейшей работе машины не участвует. Поэтому использование активных материалов — магнитных и проводниковых — в таких машинах невысокое.

Конденсаторные двигатели (например, серия АОЛД), где обе однофазные обмотки статора, каждая из которых занимает $^1/_2$ его пазов, остаются включенными на все время работы машины, позволяют добиться лучшего использования активных материалов. На рис. 65, *а* показана схема включения однофазного конденсаторного двигателя с рабочей емкость $C_р$, обеспечивающей при номи-

нальной нагрузке сдвиг между векторами токов в обмотках статора, близкий к 1/4 периода.

Создаваемое обмотками вращающееся магнитное поле будет при этом практически круговым, поэтому двигатель имеет хорошие энергетические характеристики: сравнительно высокие кпд (60—75%) и $\cos\varphi$ (0,8—0,95). Однако пусковой момент здесь

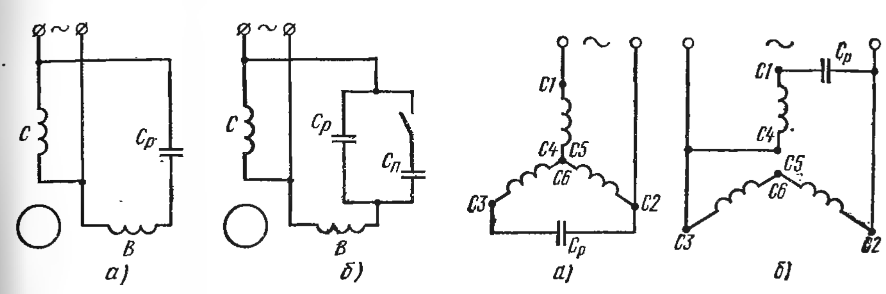


Рис. 65. Схемы включения однофазных конденсаторных двигателей:
а — с рабочей емкостью $C_р$, *б* — с рабочей емкостью $C_р$ и пусковой емкостью $C_п$

Рис. 66. Схемы подключения к однофазной сети статорных обмоток трехфазных асинхронных двигателей:
а — соединение в звезду с параллельно включенной емкостью, *б* — параллельное включение главной и вспомогательной обмоток

невысок. Для улучшения пусковых свойств двигателя в момент его пуска параллельно рабочему конденсатору $C_р$ включают пусковой конденсатор $C_п$, емкость которого примерно вдвое больше (рис. 65, *б*). После окончания разгона ротора пусковая емкость $C_п$ отключается и последовательно с обмоткой «конденсаторной фазы» остается включенной лишь рабочая емкость $C_р$.

Новые конденсаторные двигатели серии АВЕ (мощность от 10 до 400 Вт, синхронная частота вращения 1500 и 3000 об/мин, напряжение 220 В), имеющие хорошие пусковые свойства, а также энергетические и весовые показатели, в дальнейшем заменят двигатели серии АОЛБ.

Отключение пусковых обмоток однофазных асинхронных двигателей или пусковой емкости конденсаторных двигателей осуществляется центробежным или кнопочным выключателем, токовым или тепловым реле.

Для реверсирования двигателей достаточно поменять местами выводы одной из обмоток.

Выпускаются также универсальные асинхронные микродвигатели, предназначенные для работы как от трехфазной, так и от однофазной сети. В однофазную сеть эти двигатели включаются по одной из схем, приведенных на рис. 66, *а, б*. Напряжение однофазной сети при этом должно соответствовать номинальному напряжению двигателя для случая включения его в трехфазную сеть и соединения обмоток в звезду.

Порядок составления схем обмоток статоров конденсаторных двигателей в основном такой же, как и для однофазных двигателей с пусковой обмоткой. Однако следует учитывать, что каждая

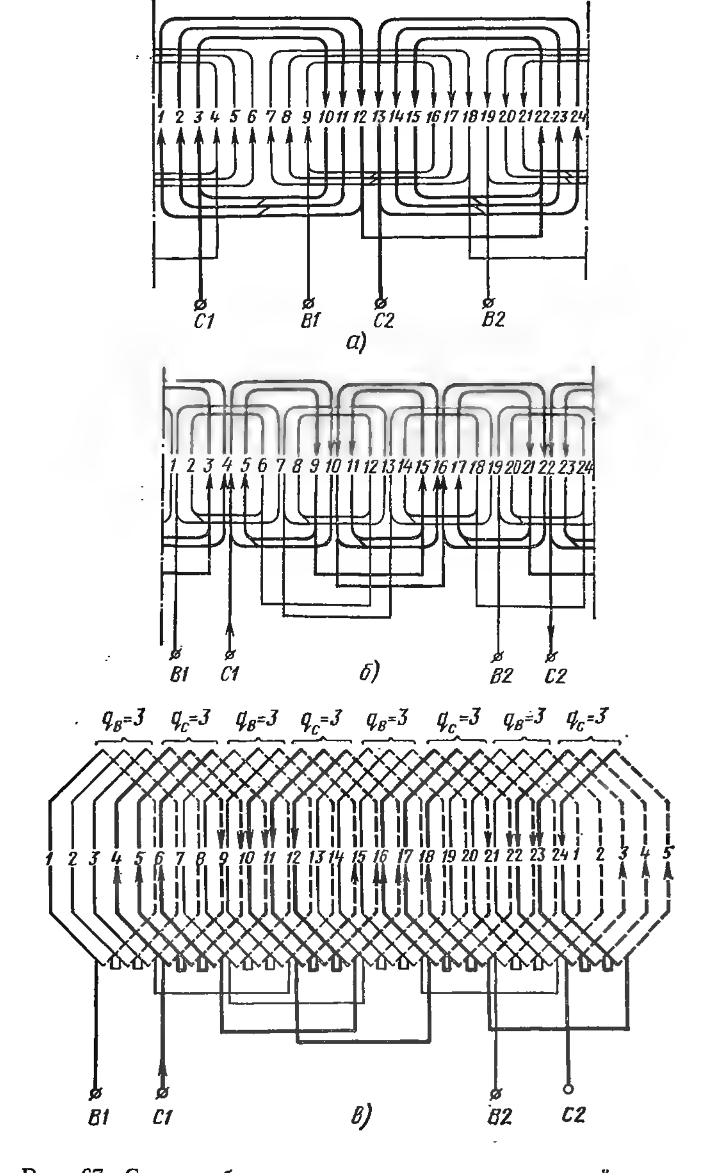


Рис. 67. Схемы обмоток конденсаторных двигателей:

а — однослойная концентрическая «вразвалку» ($z=24$, $2p=2$), *б* — однослойная концентриче
в — двухслойиая ($z=24$, $2p=4$, $q_c=q_в=3$, $y=5$), *г* — двухслойная с катушечными группами
слойная с разным числом пазов основной и конденсаторной фаз ($z=18$, $2p=4$), *е* — комби

из двух фаз конденсаторного двигателя занимает, как правило, половину пазов. Следовательно, числа пазов на полюс основной и вспомогательной (конденсаторной) фаз здесь одинаковы. Оди-

наковы, как правило, и схемы обеих обмоток.

На рис. 67, *а* показана однослойная концентрическая обмотка «вразвалку» конденсаторного двигателя при $z=24$ и $2p=2$. Число пазов, занимаемых каждой из двух обмоток, будет $z_с=z_в = z/2=24/2 = 12$. Число пазов на полюс в обмотках составит $q_с= = q_в = z/(2\cdot 2p) = =24/(2\cdot 2)=6$. Полюсное деление τ вмещает $\tau=z/(2\ p)=24/2=12$ пазов. Средний шаг каждой катушечной полугруппы равен $(11+9+ +7)/3=9$, т. е. близок к $2\tau/3=8$.

В ряде случаев, когда расчетное число катушек в катушечной полугруппе обмотки выражается дробным числом, например $1^1/_2$, обмотка в обеих фазах содержит так называемые «расчесанные» катушки с половинным числом витков. На рис. 67, *б* приведена схема обмотки конденсаторного двигателя ДВА-У3, имеющего $z=24$ и $2p=4$. Здесь число пазов на полюс в каждой обмотке $q_с = q_в = z/(2\cdot 2p) = =24/(2\cdot 4)=3$. Следовательно, катушечная группа содержит три катушки, а если мы хотим намотать обмотку «вразвалку», то на полугруппу приходится $^3/_2=1^1/_2$ катушки. Как видно из схемы, каждая фаза обмотки при этом содержит $2p=4$ «расчесанных» катушек, причем в тех пазах, где они помещаются, обмотка укладывается в два слоя.

ская с «расчесанными» катушками ($z=24$, $2p=4$), на разное число катушек ($z=18$, $2p=2$), *д* — двухнированная ($z=24$, $2p=8$, $q_с=q_в=1^1/_2$, $y_с=y_в=3$)

В последнее время конденсаторные двигатели часто выполняют с двухслойными обмотками, позволяющими выбрать оптимальное сокращение шага. На рис. 67, *в* приведена схема такой обмотки при $z=24$; $2p=4$; $q_с=q_в=3$; $y=5$. На полюсное деление τ в данном случае приходится $\tau=z/(2p)=24/4=6$ пазов. Коэффициент укорочения шага, таким образом, будет $k_у=y/\tau=5/6=0{,}83$.

На рис. 67, *г* показана схема двухслойной обмотки конденсаторного двигателя АВЕО41-2. При $z=18$ и $2p=2$ основная и вспомогательная фазы содержат по девять катушек. Число пазов на полюс составляет $q_с=q_в=z/(2\cdot 2p)=18/(2\cdot 2)=4^1/_2$, поэтому в каждой из двух фаз содержится одна катушечная группа из четырех катушек, а вторая — из пяти катушек.

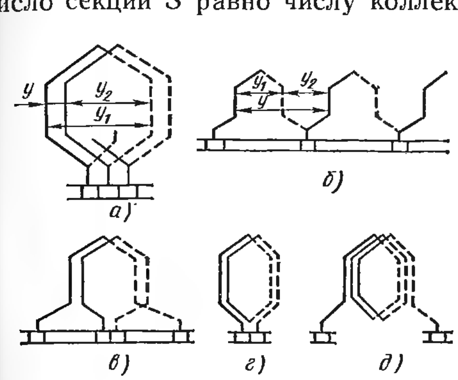
Схема двухслойной обмотки конденсаторного двигателя АВЕО41-4, приведенная на рис. 67, *д*, отличается тем, что здесь при $z=18$ и $2p=4$ количество пазов, приходящееся на полюсное деление, выражается дробным числом $(\tau=z/(2p)=18/4=4^1/_2)$. Шаг обмотки выбран укороченным $(y=4<\tau=4^1/_2)$. Основная обмотка занимает десять пазов и число катушек в катушечных группах чередуется: 3—2—3—2. Вспомогательная обмотка занимает восемь пазов и каждая из четырех катушечных групп содержит по две катушки.

Обмотка, показанная на рис. 67, *е* ($z=24$; $2p=8$; $q_с=q_в=1^1/_2$; $y_с=y_в=3$), из-за дробного числа пазов на полюс имеет одновременно признаки шаблонной «вразвалку» и двухслойной обмоток, поэтому называется комбинированной.

§ 27. Схемы обмоток якорей коллекторных машин

Якорные обмотки коллекторных машин по виду соединений проводников и секций разделяют на петлевые, волновые и комбинированные («лягушечьи»). На рис. 68 схематически показаны виды обмоток и их секций. Происхождение названий петлевой и волновой обмоток ясно из рассмотрения рисунка: в первом случае при последовательном обходе секций образуются петли, во втором случае — волны. Комбинированная обмотка несет в себе элементы петлевой и волновой. «Лягушечьей» ее называют из-за некоторого внешнего сходства катушек этой обмотки с лягушкой. Как указывалось ранее, секции обмоток могут состоять из одного или из нескольких последовательно соединенных витков, а несколько секций (обычно секции, размещаемые в одних и тех же пазах) объединяют в катушки. Если в обмотке все секции каждой катушки имеют одинаковую ширину и лежат в одних и тех же пазах (рис. 69, *а*), то обмотка называется равнокатушечной или равносекционной. Иногда в катушку объединены секции разной ширины, как это показано на рис. 69, *б*. Такая обмотка называется ступенчатой и технологически обычно изготовляется из полукатушек (в этом случае ее называют также разрезной обмоткой). Применяют ступенчатые обмотки с целью улучшить условия коммутации (уменьшить искрение под щетками на коллекторе).

В обмотках якорей коллекторных машин начало и конец каждой секции подключают к двум коллекторным пластинам, причем к каждой из коллекторных пластин подключены конец одной и начало следующей за ней по схеме секции. Таким образом, здесь число секций S равно числу коллекторных пластин K, т. е. $S=K$.



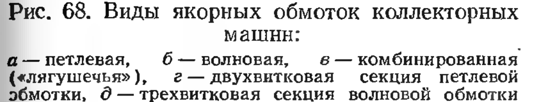


Рис. 68. Виды якорных обмоток коллекторных машин:

а — петлевая, б — волновая, в — комбинированная («лягушечья»), г — двухвитковая секция петлевой обмотки, д — трехвитковая секция волновой обмотки

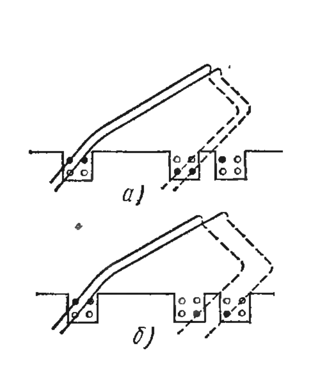


Рис. 69. Расположение секций якорной катушки в пазах:

а — при равносекционной обмотке, б — при ступенчатой обмотке

Активные стороны секций в пазах якорей коллекторных машин располагают, как правило, в два слоя: одна секционная сторона — в верхнем слое паза, вторая — в нижнем слое. Если в каждом слое одного паза лежит только одна секционная сторона, то число пазов z, занятых обмоткой, будет равно числу секций S и числу коллекторных пластин K. Такой паз, в каждом слое которого находится лишь одна секционная сторона, называют *элементарным пазом*. Однако у большинства якорей современных коллекторных машин в каждом слое реального паза располагается несколько секционных сторон (обычно 2—3, но иногда и 5—7), а количество коллекторных пластин в соответствующее число раз ($u_п$ раз) больше количества реальных пазов. В этом случае реальные пазы как бы содержат несколько элементарных пазов, а число таких элементарных пазов в реальном пазу якоря равно числу секционных сторон, расположенных в одном слое реального паза.

Общее число реальных пазов, в которых расположена обмотка, обозначают буквой z, а общее число элементарных пазов — $z_э$. Для обмоток коллекторных машин справедливо соотношение: $S=K=z_э=u_пz$.

В обмотках якорей коллекторных машин различают (см. рис. 68):

первый частичный шаг y_1, указывающий ширину секции, т. е. расстояние между двумя активными сторонами одной и той же секции, выраженное обычно числом охватываемых секций элемен-

тарных пазов; первый частичный шаг делают, как правило, приблизительно равным диаметральному шагу обмотки, т. е. $y_1 \approx \tau$;

второй частичный шаг y_2, указывающий расстояние между второй активной стороной данной секции и первой активной стороной следующей по схеме секции;

результирующий шаг y, указывающий расстояние между первой активной стороной данной секции и первой активной стороной следующей по схеме секции;

шаг по коллектору $y_к$, указывающий расстояние между началом и концом одной секции, выраженное числом коллекторных пластин.

Простая петлевая обмотка якоря коллекторной машины состоит из секций, присоединенных своими выводами к двум лежащим рядом коллекторным пластинам, причем конец одной секции соединяется (через коллекторную пластину) с началом следующей. Начав обход по схеме с какой-либо коллекторной пластины, мы, обойдя один раз сердечник якоря, вновь вернемся к этой же коллекторной пластине, т. е. рассматриваемая обмотка замыкается за один обход вокруг сердечника. Начала двух следующих друг за другом по схеме секций обмотки лежат в соседних элементарных пазах, поэтому результирующий шаг у простой петлевой обмотки всегда равен единице. Если первый частичный шаг y_1 больше второго частичного шага y_2, то результирующий шаг $y=+1$. При обходе секций такой обмотки (рис. 70, *а*) мы будем перемещаться слева направо, поэтому обмотка называется правоходовой. Если же первый частичный шаг y_1 меньше второго частичного шага y_2, то результирующий шаг $y=-1$ и обмотка будет левоходовой (рис. 70, *б*). Предпочтение обычно отдают правоходовой обмотке, так как в ней нет лишних перекрещиваний лобовых частей и на нее расходуется меньше обмоточного провода.

Рис. 70. Секции простой петлевой обмотки

Итак, соотношения между шагами простой петлевой обмотки могут быть выражены формулами: $y=y_1-y_2=\pm 1$; $y_2=y_1-y=y_1 \mp 1$. Шаг обмотки по коллектору $y_к$ равен результирующему шагу, т. е. $y_к=y=\pm 1$ (знак «+» — для правоходовой обмотки, а знак «—» — для левоходовой).

Первый частичный шаг обмотки y_1, характеризующий ширину секции, желательно иметь равным или близким к полюсному делению. Он определяется по формуле $y_1=\frac{z_э}{2p} \mp \varepsilon$, где $z_э$ — число элементарных пазов обмотки; $2p$ — число полюсов; ε — ноль или правильная дробь, делающая y_1 целым числом. Если $\varepsilon=0$, то

шаг y_1 — диаметральный, так как точно совпадает с полюсным делением τ. Если же дробь ε вычитают, то шаг y_1 будет укороченным, а если прибавляют — то удлиненным.

На рис. 71, *а* представлена развернутая схема простой петлевой обмотки якоря четырехполюсной ($2p=4$) коллекторной маши-

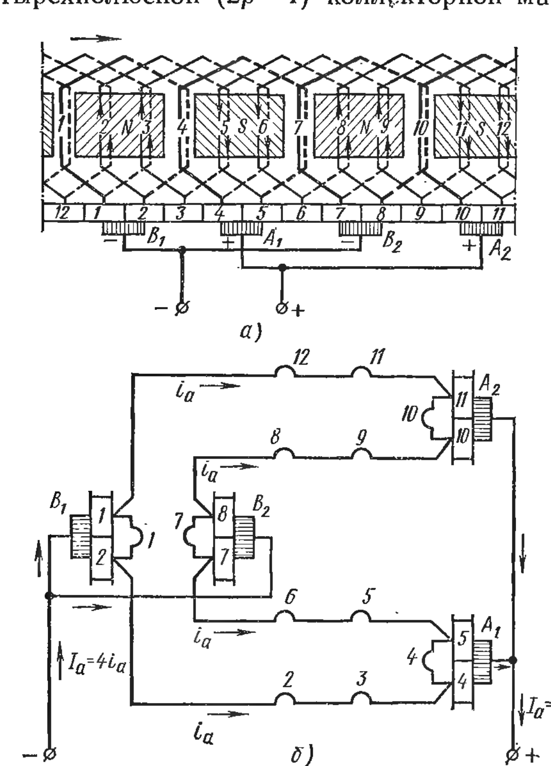


Рис. 71. Развернутая схема простой петлевой обмотки якоря при $z=12$, $2p=4$ (*а*) и электрнческая схема параллельных ветвей (*б*)

ны. Сердечник якоря имеет 12 пазов ($z=12$), а в каждом пазу в два слоя расположены две активные стороны секций, т. е. каждый реальный паз соответствует элементарному ($z=z_э$; $u_п=1$). Первый частичный шаг обмотки $y_1=3$ и является диаметральным, так как точно соответствует полюсному делению $\tau=z/(2p)=12/4=3$.

Второй частичный шаг обмотки $y_2=2$, а результирующий шаг $y=+1$, т. е. обмотка — правоходовая, что и видно по схеме.

Показанные на схеме полюса представляют собой как бы зеркальное отражение реальных полюсов, находящихся над якорем. Направление эдс в активных сторонах секций, указываемое стрелками, определено по общеизвестному правилу правой руки с учетом движения обмотки слева направо. Ширина изображения полюсов на схемах обычно берется равной примерно $0{,}8\tau$. Щетки на коллекторе размещены так, чтобы суммарная эдс всех секций, включенных между щетками разной полярности, была максималь-

ной. Это будет, если щетки располагаются прямо против полюсов и соприкасаются с теми коллекторными пластинами, к которым подключены выводы секций, проходящих нейтральную линию магнитного поля машины. Расстояние по коллектору между серединами ближайших соседних щеток разной полярности составляет $K/(2p)$ коллекторных делений, что для рассматриваемой обмотки соответствует трем делениям. Щетки одинаковой полярности соединяются между собой и через эти соединительные проводники подключаются к соответствующим зажимам коробки выводов машины.

Рис. 72. Практическая схема простой петлевой обмотки якоря при $z=108$, $2p=2a=8$, $u_п=4$

Если внимательно проследить любую схему простой петлевой обмотки, то нетрудно увидеть, что она состоит из параллельных ветвей, причем в каждую параллельную ветвь входит участок обмотки, который при ее обходе находится между двумя соседними нейтральными линиями магнитного поля. В рассматриваемой четырехполюсной обмотке таких нейтральных линий будет четыре, поэтому обмотка содержит четыре параллельные ветви ($2a=4$). В общем же случае простая петлевая обмотка будет иметь столько параллельных ветвей, сколько полюсов в машине.

На рис. 71,*б* приведена электрическая схема, на которой показано распределение секций в параллельных ветвях рассматриваемой нами обмотки. Секции на схеме показаны в виде дуг-полуокружностей и каждой из них присвоен номер паза, в котором данная секция занимает верхний слой. Итак, как это четко видно на схеме, в нашей обмотке четыре параллельные ветви, причем в каждой ветви содержится две последовательно включенные секции, эдс которых складываются. Четыре же секции, активные стороны которых в данный момент времени проходят нейтральные линии магнитного поля, замыкаются щетками накоротко.

Эдс всей обмотки якоря определяется величиной эдс одной параллельной ветви, а ток якорной обмотки — суммой токов параллельных ветвей.

Развернутые схемы якорных обмоток многополюсных машин с большим числом пазов получаются очень сложными и громоздкими. В таких случаях часто пользуются практическими схемами, где изображается участок обмотки, который потом каждый раз повторяется. На рис. 72 приведена практическая схема простой петлевой обмотки со следующими данными: $z=108$; $2p=2a=8$; $u_п=4$. В такой обмотке в одном слое каждого паза размещены активные стороны четырех соседних по схеме секций, так как каждый реальный паз содержит четыре элементарных паза. Коли-

чество секций обмотки и количество коллекторных пластин будет в 4 раза бо́льшим, чем число пазов. Для определения шага обмотки по реальным пазам y_z можно воспользоваться формулой $y_z \approx z/(2p) = {}^{108}/_8 = 13{,}5$. Так как шаг может выражаться лишь целым числом, то принимаем $y_z = 13$.

Первый частичный шаг обмотки в элементарных пазах определим так: $y_1 = y_z u_п = 13 \cdot 4 = 52$.

Обмотку выполним правоходовой, поэтому второй частичный шаг будет $y_2 = y_1 - 1 = 52 - 1 = 51$.

Число коллекторных пластин $K = u_п z = 4 \cdot 108 = 432$.

На рис. 72 видно, что стороны катушки, состоящей из четырех секций, лежат в пазах *1* (верхний слой) и *14* (нижний слой). Здесь же указаны номера элементарных пазов, к которым принадлежат стороны показанных на схеме секций.

Сложная петлевая обмотка используется для увеличения числа параллельных ветвей обмотки якоря, что бывает необходимым в мощных низковольтных машинах. Такая обмотка состоит из нескольких (в общем случае из *m*, где *m* — коэффициент кратности) простых петлевых обмоток, а количество параллельных ветвей в

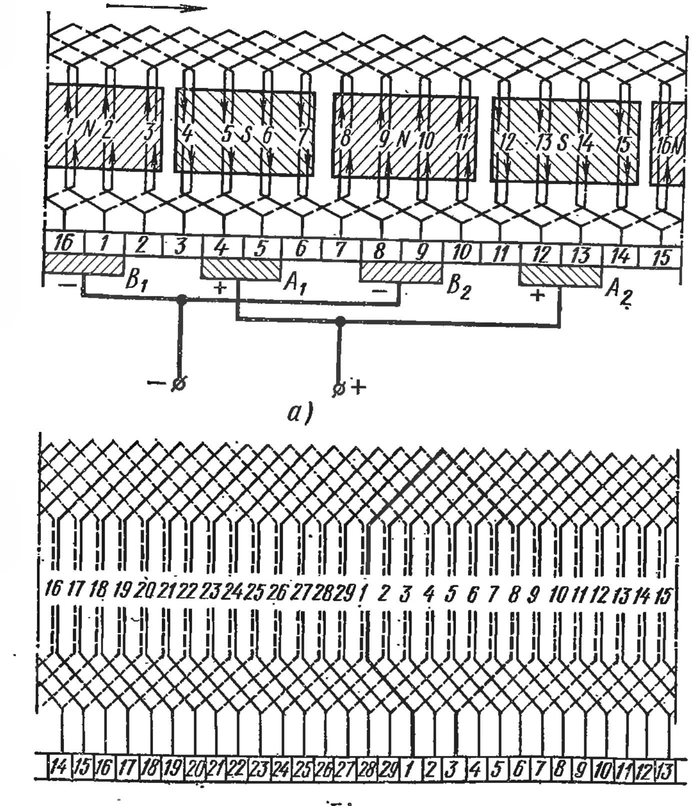


Рис. 73. Схема сложных петлевых обмоток:

а — развернутая, для двухходовой двухкратнозамкнутой обмотки ($z_э = 16$, $2p = 4$),
б — развернутая, для двухходовой однократнозамкнутой обмотки ($z_э = 29$, $2p = 4$)

ней $2a=2pm$. На практике коэффициент кратности чаще всего выбирают равным 2. Такую обмотку называют двухходовой.

На рис. 73, *а* показана развернутая схема сложной петлевой обмотки при $2p=4$, $z_э=16$ и $m=2$. Обмотка состоит из двух простых петлевых обмоток. К первой из них принадлежат все секции с нечетными номерами. Выводы этих секций присоединены к нечетным пластинам коллектора. Вторая обмотка состоит из секций, обозначенных четными номерами и присоединенных к четным коллекторным пластинам. Каждая из этих простых обмоток отдельно замыкается сама на себя, а электрически они связаны лишь через щетки, ширина которых должна обеспечивать перекрытие не менее двух (в общем случае m) коллекторных пластин. Рассматриваемая обмотка называется двухходовой двухкратнозамкнутой, так как каждая из двух входящих в нее простых петлевых обмоток замыкается отдельно, что стало возможным, поскольку при $m=2$ шаг по коллектору $y_к=2$, а число коллекторных пластин K в нашем случае четное. В общем случае, если $y_к$ и K имеют общий наибольший делитель m, то сложная обмотка будет состоять из m отдельных замкнутых обмоток.

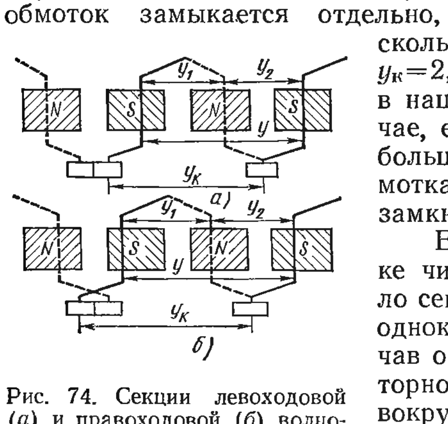


Рис. 74. Секции левоходовой (*а*) и правоходовой (*б*) волновых обмоток

Если в двухходовой ($m=2$) обмотке число коллекторных пластин (число секций) нечетное, то обмотка будет однократкозамкнутой (рис. 73, *б*). Начав обход по схеме обмотки с коллекторной пластины *1*, за первый обход вокруг якоря пройдем все нечетные секции и нечетные коллекторные пластины, а затем — при втором обходе вокруг якоря — четные секции и четные коллекторные пластины. В конце второго обхода вернемся к коллекторной пластине *1*, с которой начинали обход, т. е. обмотка замкнется.

Простая волновая обмотка характерна тем, что оба частичных шага y_1 и y_2 выполняются в одну и ту же сторону, причем каждый из них примерно равен полюсному делению. Поэтому результирующий шаг $y=y_1+y_2$ приблизительно соответствует двум полюсным делениям. Шаг по коллектору у волновой обмотки равен результирующему шагу, т. е. $y_к=y$. После каждого обхода вокруг якоря обмотка приходит к коллекторной пластине соседней (справа или слева) с той, от которой начат данный обход. Отсюда следует, что шаг по коллектору $y_к$ может быть найден по формуле: $y_к=(K\mp 1)/p$.

Знак «—» соответствует левоходовой обмотке (рис. 74, *а*), а знак «+» — правоходовой (рис. 74, *б*). Правоходовые волновые обмотки используются крайне редко из-за перекрещивающихся лобовых частей и повышенного расхода обмоточного провода.

Построим развернутую схему левоходовой волновой обмотки при $2p=4$, $z=z_э=13$.

Первый частичный шаг обмотки можно определить по формуле

$$y_1 = \frac{z_э}{2p} \pm \varepsilon = \frac{13}{4} - \frac{1}{4} = 3.$$

Зная, что $K=z_э$, результирующий шаг и шаг по коллектору можно рассчитать так: $y = y_к = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{z_э \pm 1}{p} = \frac{13-1}{2} = 6.$

Второй частичный шаг обмотки находится из соотношения: $y_2=y-y_1=6-3=3$.

Имея эти данные, нетрудно построить схему, которая показана на рис. 75, *а*. На рис. 75, *б* приведена электрическая схема параллельных ветвей обмотки. Из схемы видно, что число параллельных ветвей здесь равно двум, т. е. $2a=2$, что характерно для всех простых волновых обмоток независимо от числа полюсов в машине. В обмотке можно было бы ограничиться применением только двух щеток, например A_2 и B_2. Однако в нашем случае при этом в параллельных ветвях было бы неодинаковое количество секций: в одной ветви — семь, в другой — шесть. Поэтому обычно устанавливают столько щеток, сколько главных полюсов в машине, что также позволяет снизить ток в каждой щетке и уменьшить размеры коллектора.

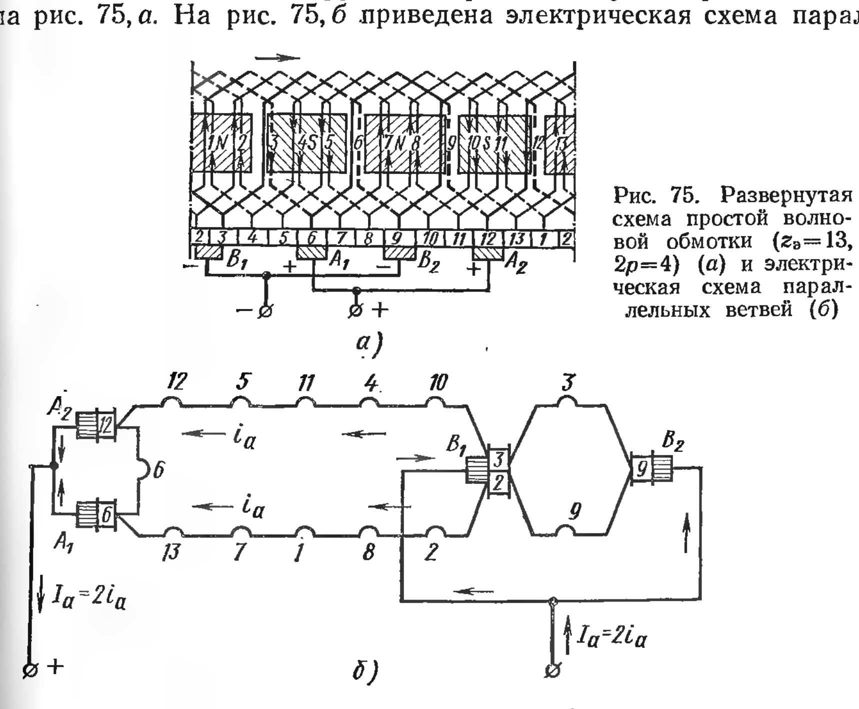


Рис. 75. Развернутая схема простой волновой обмотки ($z_э=13$, $2p=4$) (*а*) и электрическая схема параллельных ветвей (*б*)

Из приведенных выше схем видно, что находящиеся в каждой параллельной ветви волновой обмотки секции (которые могут быть как одновитковыми, так и многовитковыми) равномерно расположены под всеми полюсами машины.

Симметричная волновая обмотка может быть выполнена не при всяком числе коллекторных пластин. Если, например, машина имеет четное число пар полюсов и четное число коллекторных плас-

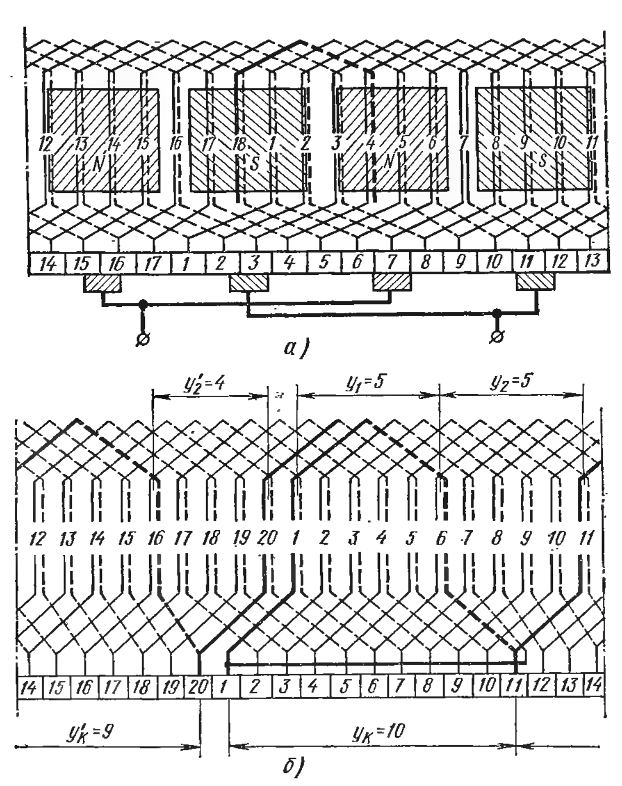


Рис. 76. Развернутые схемы несимметричных волновых обмоток:

а — с «мертвой» секцией ($z_э=18$, $2p=4$), *б* — искусственно замкнутая ($z_э=20$, $2p=4$)

тин, то шаг по коллектору, как видно из приведенной выше формулы, целым числом выражаться не может, т. е. обмотка не будет симметричной. В таких случаях одну секцию обмотки оставляют свободной и не присоединяют к коллектору, а число коллекторных пластин уменьшают на одну. Такая обмотка с «мертвой» секцией при $2p=4$; $z_э=18$ и $K=17$ показана на рис. 76, *а*.

Если не представляется возможным уменьшить число коллекторных пластин, то применяют искусственно замкнутую волновую обмотку. Результирующий шаг и шаг по коллектору в этой обмотке имеют два значения. Второе значение $y'=y'_к$ вычисляется в предположении, что число коллекторных пластин и секций на единицу больше, чем в действительности. Второй частичный шаг в искусственно замкнутой волновой обмотке также имеет два зна-

чения: $y_2=y-y_1$ и $y'_2=y'-y_1$. При составлении схемы обмотки (рис. 76, б), начиная с коллекторной пластины № 1, шаги по коллектору $y_к$ и $y'_к$ чередуют. Оставшийся после обхода конец секции присоединяют перемычкой к пластине № 1 и искусственно замыкают обмотку.

Сложная (многоходовая) волновая обмотка состоит из нескольких (m) простых волновых обмоток, уложенных на одном якоре

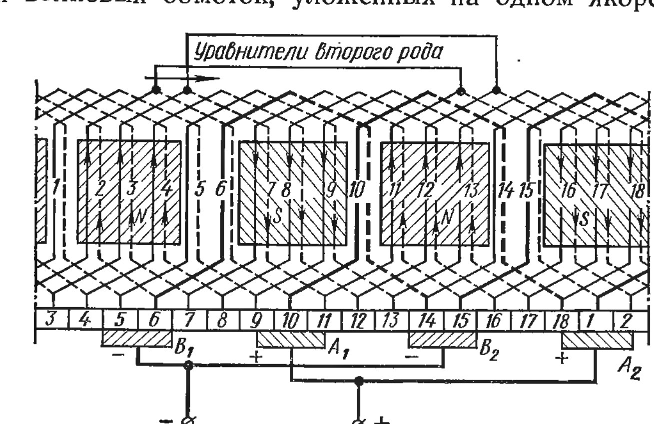


Рис. 77. Развернутая схема сложной волновой двухкратнозамкнутой обмотки ($z=18$, $2p=4$, $m=2$)

(m — коэффициент кратности). Число параллельных ветвей обмотки $2a=2m$, так как каждая из m простых обмоток имеет две параллельные ветви. Каждый обход якоря в сложной волновой обмотке заканчивается на коллекторной пластине, лежащей не рядом с исходной, а отстоящей от нее на m коллекторных делений. Шаг обмотки по коллектору выражается поэтому формулой $y_к=(K\mp m)/p$.

Если $y_к$ и m имеют общий наибольший делитель t, то сложная волновая обмотка получается многократнозамкнутой (t-кратно) и состоит из t отдельных простых волновых обмоток, электрически соединенных между собой лишь щетками, перекрывающими по ширине одновременно m коллекторных пластин.

На рис. 77 приведена развернутая схема сложной волновой обмотки при $2p=4$; $z_э=K=18$; $m=2$. Шаг такой обмотки по коллектору $y_к=(K-m)/p=(18-2)/2=8$. Поскольку общий наибольший делитель для $y_к=8$ и $m=2$ будет $t=2$, то рассматриваемая сложная обмотка является двухкратнозамкнутой, т. е. состоит из двух отдельных простых волновых обмоток, соединенных электрически только щетками. Шаги обмотки: $y_1=\frac{z_э}{2p}-\varepsilon=\frac{18}{4}-\frac{1}{2}=4$; $y=y_к=8$; $y_2=y-y_1=8-4=4$. Число параллельных ветвей обмотки $2a=2p=2m=4$.

Когда в сложной волновой обмотке $y_к$ и m не имеют общего делителя, т. е. $t=1$, то получают сложную волновую однократно-

замкнутую обмотку. На практике для якорей многополюсных машин повышенного напряжения чаще других используют двухходовую волновую двухкратнозамкнутую обмотку.

Условия симметрии якорных обмоток коллекторных машин, т. е. получения обмоток, у которых при любом положении относительно полюсов в параллельных ветвях наводятся одинаковые эдс и сопротивления всех параллельных ветвей одинаковы, можно сформулировать следующим образом:

1. Каждая пара параллельных ветвей обмотки должна состоять из одинакового числа секций. Это может быть лишь тогда, когда на каждую пару параллельных ветвей обмотки приходится целое число секций, т. е. S/a — целое число.
2. Секции каждой пары параллельных ветвей должны занимать одинаковое число пазов якоря, т. е. z/a — целое число.
3. Каждая пара параллельных ветвей обмотки должна занимать одинаковое положение относительно системы полюсов, что возможно лишь в том случае, если $2p/a$ — целое число (или $2pm/a$ — целое число).

Условия симметрии применительно к конкретным видам рассмотренных обмоток представлены в табл. 12. В этой же таблице приведены основные формулы для определения шагов обмоток и числа параллельных ветвей.

Уравнительные соединения применяются для устранения вредного воздействия на работу машины неравномерного распределения тока в параллельных ветвях якорной обмотки и неравномерного распределения напряжения между коллекторными пластинами.

У петлевых обмоток каждая параллельная ветвь расположена под парой соседних полюсов. Если машина с такой обмоткой на якоре имеет четыре и более главных полюсов (т. е. $p \geqslant 2$), то при несимметрии в магнитной системе (вызванной, например, неравномерным воздушным зазором) эдс в параллельных ветвях обмотки будет разной, что ведет к появлению уравнительных токов.

Например, при неправильной центровке якоря (рис. 78, *а*), когда зазор под верхним полюсом больше, чем под нижним, эдс у первой и четвертой параллельных ветвей будет меньше, чем у второй и третьей (рис. 78, *б*). При этом потенциалы щеток B_1 и B_2 окажутся неодинаковыми и в параллельных ветвях обмотки появятся уравнительные токи $i_{ур}$, которые замыкаются через проводник, соединяющий щетки B_1 и B_2, а во внешнюю цепь машины не выходят. Так как сопротивление обмотки якоря невелико, то даже при незначительном различии в эдс параллельных ветвей уравнительные токи $i_{ур}$ достигают большой величины. В результате часть параллельных ветвей будет недогруженной (в нашем случае — первая и четвертая ветви), а часть — перегруженной (вторая и третья) и чрезмерно нагретой. Кроме того, перегружается часть щеток (в нашем случае щетка B_2), плотность тока под ними превышает допустимые пределы, что приводит к излишнему искрению на коллекторе.

Таблица 12. **Условия симметрии, шаги и числа параллельных ветвей петлевых и волновых обмоток коллекторных машин**

Тип обмотки	Условия симметрии	y_1	y_2	$y = y_{к}$	$2a$
Простая петлевая	$\frac{K}{p}$ — целое число; $\frac{z}{p}$ — целое число	$\frac{z_э}{2p} \mp \varepsilon$	$y_1 \pm 1$	± 1	$2p$
Сложная петлевая	$\frac{K}{p}$ — целое число, не кратное m; $\frac{z}{p}$ — целое число, не кратное m; $u_п$ — целое число, не кратное m	$\frac{z_э}{2p} \mp \varepsilon$	$y_1 \pm m$	$\pm m$	$2\ pm$
Простая волновая	$u_п = \frac{K}{z}$ — целое число (у применяющихся несимметричных обмоток с «мертвой» секцией $\frac{K+1}{z}$ — целое число)	$\frac{z_э}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	$\frac{K \mp 1}{p}$	2
Сложная волновая	$\frac{z}{a}$ — целое число; $u_п = \frac{K}{z}$ — целое число; $\frac{2p}{[illegible]}$ — целое число	$\frac{z_э}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	$\frac{K \mp a}{p}$	$2m$

Для борьбы с вредным влиянием уравнительных токов точки обмотки якоря, потенциалы которых должны быть одинаковыми, электрически соединяют между собой. Эти соединения, которые в нашем случае (для простой петлевой обмотки) называются *уравнительными соединениями первого рода,* выполняют медными проводами с сечением от $1/5$ до $1/3$ сечения провода обмотки и присоединяют к наиболее доступным для этого точкам обмотки,

которыми являются либо коллекторные пластины, либо лобовые части со стороны, противоположной коллектору. Количество таких точек равно числу полюсов в машине. Расстояние между соседними равнопотенциальными точками обмотки называют потенциальным шагом $y_{ур}$. При расположении уравнительных соедине-

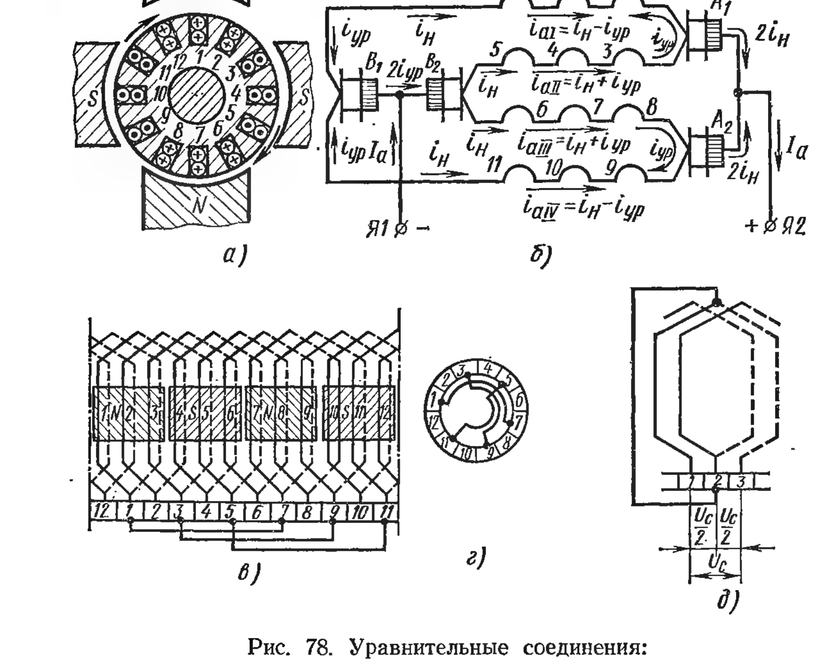


Рис. 78. Уравнительные соединения:

а — иесимметричное расположение якоря в четырехполюсной машине, *б* — электрическая схема параллельиых ветвей петлевой обмотки якоря четырехполюсной машины и уравнительные токн в них; *в* — уравнительные соедииеиия первого рода в петлевой обмотке при $2p=4$, $z=z_э=K=12$, *г* — соединение коллекторных пластин уравнителями первого рода, *д* — уравнители второго рода в сложной петлевой обмотке

ний со стороны коллектора $y_{ур}$ измеряется числом коллекторных делений: $y_{ур}=K/a=K/p$.

Полное число уравнительных соединений первого рода, которое может быть в обмотке, $N_{ур}=K/a$. Однако с полным числом уравнительных соединений выполняют лишь очень ответственные и мощные машины, например двигатели прокатных станов. В машинах средней мощности считается достаточным иметь число уравнительных соединений, равное числу реальных пазов. В небольших четырехполюсных машинах обычно делают три-четыре уравнительных соединения.

На рис. 78, *в*, *г* показаны уравнительные соединения первого рода на якоре четырехполюсной ($2p=4$) машины, имеющем простую петлевую обмотку из 12 секций. Потенциальный шаг здесь

$y_{ур} = K/p = 12/2 = 6$, а полное возможное число уравнительных соединений $N_{ур} = K/a = 12/2 = 6$, из которых осуществлены три.

Следует отметить, что наличие уравнительных соединений не только разгружает обмотку и щетки от уравнительных токов, но и ослабляет действие причины, вызывающей уравнительные токи. Это происходит потому, что проходящий по уравнительным соединениям и обмотке уравнительный ток усиливает магнитное поле там, где оно было ослаблено, и ослабляет там, где оно было усилено.

Простые волновые обмотки не требуют уравнительных соединений, так как секции каждой параллельной ветви здесь располагаются под всеми полюсами и неравенство магнитных потоков под ними в одинаковой степени скажется на эдс параллельных ветвей, т. е. эти эдс останутся равными.

В сложных петлевых и волновых обмотках простые обмотки, образующие сложную, соединяются параллельно через щеточные контакты на коллекторе. Так как переходные сопротивления между щетками и коллекторными пластинами, относящиеся к разным простым обмоткам, строго одинаковыми практически быть не могут, то и ток между обмотками распределяется неодинаково. Это нарушает равномерное распределение потенциала по коллектору и может вызвать здесь значительное искрение. Для устранения неравномерного распределения напряжения по коллектору применяют уравнительные соединения второго рода, электрически соединяющие между собой точки равного потенциала простых обмоток, входящих в состав сложной.

В сложных петлевых обмотках уравнители второго рода выполняют так, как показано на рис. 78, *д*. Коэффициент кратности этой обмотки равен двум, поэтому выводы секций присоединены к коллектору через одну коллекторную пластину (пластины № 1 и № 3). Пластина № 2, принадлежащая второй простой обмотке, должна делить напряжение секции пополам, для чего и выполнено показанное на рисунке уравнительное соединение второго рода. Следует отметить, что выполнение уравнителей, соединяющих точки обмотки, расположенные по обе стороны якоря, связано с определенными трудностями: их приходится протягивать через отверстия между валом и сердечником якоря.

Следует помнить, что если в сложных волновых обмотках применяют лишь уравнительные соединения второго рода, то в сложных петлевых обмотках нужны уравнители как первого, так и второго рода.

Комбинированная («лягушечья») обмотка представляет собой две параллельно соединенные обмотки — петлевую и сложную волновую, уложенные в одни и те же пазы якоря в четыре слоя и присоединенные к одному и тому же коллектору. К каждой коллекторной пластине присоединяют четыре проводника — по два от каждой обмотки. Число параллельных ветвей, а также число секций и последовательно соединенных проводников в обеих обмотках должны быть одинаковыми, так как по каждой обмотке

проходит половина тока якоря и обмотки соединены параллельно. Коэффициент кратности для сложной волновой обмотки выбирается из условия равенства числа параллельных ветвей обмоток, входящих в состав комбинированной. Так, если машина четырехполюсная, то простая петлевая обмотка, входящая в состав «лягушечьей», будет иметь четыре параллельные ветви. Такое же количество ветвей должна иметь и сложная волновая обмотка, т. е. она должна иметь коэффициент кратности 2, так как простая волновая обмотка имеет лишь две параллельные ветви. Итак, «лягушечья» обмотка четырехполюсной машины состоит из простой петлевой и двухкратной сложной волновой обмоток.

Основное преимущество комбинированной обмотки — большое число параллельных ветвей и отсутствие уравнительных соединений. Поскольку технология выполнения этих обмоток сложна, то область их применения ограничена машинами достаточно большой мощности и некоторыми небольшими быстроходными машинами, в которых затруднительно выполнение уравнительных соединений.

На рис. 79, *а* показано расположение в пазах секции комбинированной обмотки, а на рис. 79, *б* — часть ее развернутой схемы. Шаги секций обмоток, составляющих комбинированную, делают одинаковыми ($y_{1п}=y_{1в}$). Шаг комбинированной обмотки равен сумме шагов составляющих обмоток: $y_1=y_{1п}+y_{1в}=z_э/(2p)+ +z_э/(2p)=z_э/p=K/p=y_{ур}$, т. е. шаг комбинированной обмотки равен потенциальному шагу. Поэтому пластины коллектора, которые должны быть соединены уравнителями, в комбинированной обмотке оказываются соединенными секциями.

На рис. 79, *в* показана часть развернутой схемы комбинированной обмотки при $2p=4$; $z=40$; $u_п=1$; $K=u_п z=1\cdot 40=40$. Шаги для петлевой обмотки: $y_{1п}=10$; $y_{2п}=9$; $y_{кп}=1$. Шаги для волновой обмотки: $y_{1в}=10$; $y_{2в}=9$; $y_{кв}=19$.

Шаги «лягушечьей» обмотки по этой схеме можно определить следующим образом. Находят шаги петлевой обмотки и наносят на чертеже две ее секции *А* и *С*, сдвинутые относительно друг друга на 2τ. Затем коллекторную пластину *2*, куда присоединен конец секции *А*, соединяют секцией *В* волновой обмотки с началом секции *С*. Секцию *В* располагают в тех же пазах, где лежат секции петлевой обмотки. По данным полученного чертежа определяют шаги волновой обмотки $y_{1в}$, $y_{2в}$ и $y_{кв}$. Полученный из чертежа шаг по коллектору проверяют по формуле: $y_{кв}=(K+a)/p$. Сумма шагов по коллектору петлевой и волновой обмоток, составляющих «лягушечью», должна удовлетворять соотношению: $y_{кп}+y_{кв}=K/p$.

В схеме на рис. 79, *г* первые шаги петлевой и волновой обмоток уменьшены на пазовое деление: $y_{1п}=9$; $y_{1в}=9$. Вторые шаги при этом получаются: $y_{2п}=8$; $y_{2в}=10$. Шаг по коллектору остается прежним. Такая схема, которая может быть получена при условии, что $z/(2p)$ равно целому числу, способствует улучшению коммутации машины.

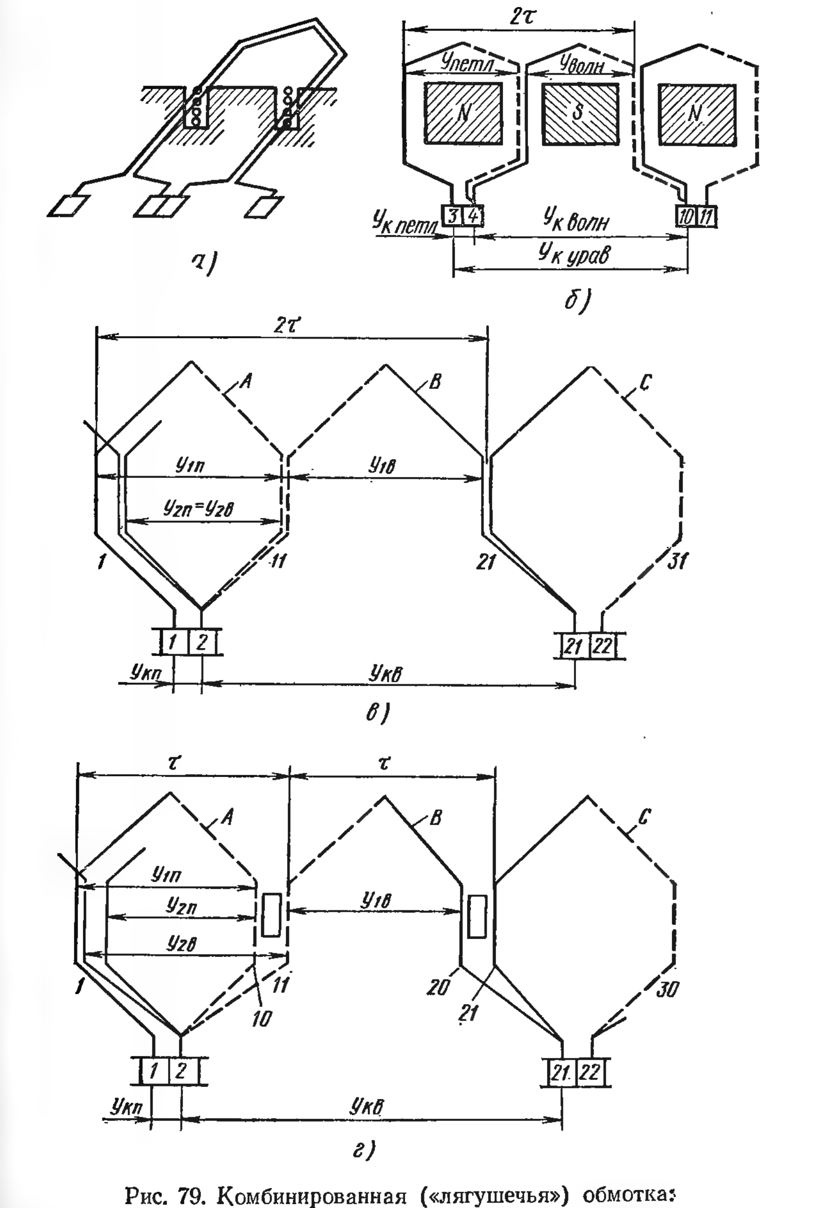


Рис. 79. Комбинированная («лягушечья») обмотка:

а — расположение в пазах секции комбинированой обмотки, *б* — часть развернутой схемы комбинированной обмотки, *в* — схема обмотки при $z=40$, $2p=4$, $y_{1п}=y_{1в}=10$, $y_{2п}=y_{2в}=9$, *г* — схема обмотки при $z=40$, $2p=4$, $y_{1п}=y_{1в}=9$, $y_{2п}=y_{2в}=10$

Контрольные вопросы

1. Какие виды обмоток электрических машин вы знаете?

2. Составьте развернутую и торцевую схемы трехфазной однослойной концентрической двухплоскостной обмотки со следующими данными: $z=36$; $2p=4$; $a=2$.

3. Расскажите о трехфазных однослойных шаблонных обмотках и их особенностях.

4. Составьте развернутую и упрощенную торцевую схемы трехфазных двухслойных петлевых обмоток со следующими данными:

$z=24$; $2p=2$; $a=1$; с диаметральным и укороченным шагами;

$z=36$; $2p=4$; $a=1$ и $a=2$; с диаметральным и укороченным шагами;

$z=54$; $2p=6$; $a=1$; с укороченным шагом ($y\approx0{,}8\tau$).

5. Составьте схемы трехфазных петлевых обмоток с дробным q при следующих данных:

$z=36$; $2p=8$; обмотка однослойная;

$z=48$; $2p=6$; обмотка двухслойная.

6. Каким образом достигается переключение числа пар полюсов в трехфазных многоскоростных обмотках?

7. Составьте развернутую схему обмотки статора однофазного асинхронного двигателя с пусковой обмоткой при $z=36$ и $2p=4$.

8. Какие виды якорных обмоток коллекторных машин вы знаете?

ГЛАВА VI
ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 28. Система планово-предупредительных ремонтов, виды ремонта, структура электроремонтных предприятий

В СССР принята система планово-предупредительных ремонтов (ППР), основным содержанием которой является плановое осуществление комплекса работ и мероприятий по уходу за электрооборудованием и его ремонту. Чередование, периодичность и объемы ремонтов устанавливают системой ППР в зависимости от режимов работы и условий эксплуатации электрооборудования, учитывая необходимость обеспечения бесперебойной работы предприятия и безопасности персонала, обслуживающего электрооборудование. Система ППР является плановой системой мероприятий, обеспечивающей продолжительную безаварийную работу электрооборудования. В результате многолетнего широкого применения системы ППР в промышленности снизились издержки на содержание электрооборудования, сократилось число аварий, уменьшилось время простоев и повысилась надежность работы электрооборудования, возросла техническая культура электроремонтного дела.

Положением о ППР электрооборудования предусматривается осуществление двух основных видов ремонта электродвигателей и трансформаторов — среднего и капитального.

Средний ремонт осуществляется с целью улучшения состояния изоляции и лакового покрова обмоток чисткой, промывкой, суш-

кой, пропиткой и лакировкой; устранения небольших повреждений в изоляции и дефектов крепления обмоток; обнаружения и устранения дефектов в соединениях (плохие пайки и контакты); устранения повреждений контактных колец и коллекторов обточкой, шлифовкой и продорожкой; ревизии всех частей, деталей и элементов; замены изношенных и поврежденных деталей и частей.

Основное назначение средних ремонтов — предупреждение чрезмерного износа электрооборудования и поддержание его в работоспособном состоянии.

Задачей капитального ремонта является восстановление или замена всех изношенных и поврежденных частей, деталей и обмоток для обеспечения бесперебойной работы электрической машины или трансформатора на длительный установленный Правилами технической эксплуатации или другими нормами срок. Капитальный ремонт может быть проведен без внесения в конструкцию ремонтируемого электрооборудования существенных изменений, а может быть связан с работами по улучшению конструкции и эксплуатационных качеств электрических машин, как, например, переделка фазного ротора двигателя на короткозамкнутый, замена старой изоляции обмоток новой, более теплостойкой, и др.

При капитальном ремонте электрических машин и силовых трансформаторов старых конструкций нередко возникает потребность в их модернизации, т. е. совершенствовании конструкции, улучшении эксплуатационных качеств; повышении надежности, ремонтопригодности и безопасности. Основной целью модернизации является приближение старого технически несовершенного электрооборудования к современным конструкциям, наиболее отвечающим действующим требованиям и условиях эксплуатации.

Эффективное и высокопроизводительное выполнение ремонтных работ обеспечивается путем правильного выбора планировки электроремонтного цеха, применения передового принципа работ и современной технологии.

Примерный план и структура подразделений электроремонтного цеха по поточному ремонту электродвигателей крупного предприятия показаны на рис. 80.

В необходимых случаях электроремонтный цех может быть использован для ремонта не только электрических машин и трансформаторов, но также и другого электрооборудования. Для расширения номенклатуры ремонтируемого электрооборудования могут быть успешно использованы значительная часть имеющихся производственных площадей, парка станочного оборудования, инструмента и приспособлений.

Ремонт электрических машин и трансформаторов средних и небольших промышленных предприятий может осуществляться в электроремонтных цехах, имеющих структурно-технологическую схему ремонта, приведенную на рис. 81.

На каждом предприятии размеры электроремонтного цеха, его оснащенность специальным оборудованием, металлорежущими

станками и сварочными агрегатами определяются принятой технологией ремонта, номенклатурой, мощностью и количеством электрооборудования, подлежащего ремонту в сроки, обеспечивающие потребности предприятия.

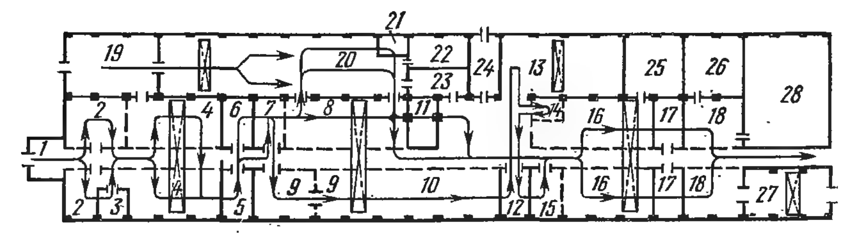


Рис. 80. План электроремонтного цеха для поточного ремонта электродвигателей и машин постоянного тока:

1 — тамбур, *2* — площадки для складирования поступающего в ремонт электрооборудования (ремфонд), *3* — стенд предремонтных испытаний, *4* — участки разборки, *5* — камера очистки и промывки разобранного электрооборудования, *6* и *7* — стенды предремонтных электрических и механических испытаний, а также дефектации электрооборудования, *8* — склад разобранного электрооборудования, *9* — площадки для демонтажа поврежденых обмоток, *10* — помещение восстановления изоляции проводов поврежденных обмоток, а также ремонта, нзготовления и замены обмоток, *11* — склад запчастей, *12* — стенд электрических проверок и испытаний обмоток, *13* — сушильно-пропиточное отделение, *14* — площадка для замены проволочных бандажей, *15* — площадка для складирования статоров, якорей и фазных роторов, *16* — участки сборки машин, *17* — стенды проведения выпускных испытаний, *18* — склады отремонтированного оборудования, *19* — заготовительно-сварочная мастерская, *20* — слесарно-механическое отделение, *21* — стенд испытания частей с электрической изоляцией, *22* — гальваническая мастерская, *23* — кладовая для инструментов, *24* — склад обмоточно-изоляционных материалов, *25* — мастерская по восстановлению н изготовлению обмоточных проводов, *26* — электромонтажная мастерская, *27* — мастерская ремонта трансформаторов, *28* — конторско-бытовые помещения

§ 29. Порядок проведения ремонта электрических машин и трансформаторов

В электроремонтных цехах большинства предприятий принят примерно следующий порядок проведения ремонта электрооборудования.

Подлежащее ремонту электрооборудование поступает со склада в разборочное отделение.

В разборочном отделении очищают электрооборудование, сливают масло из маслонаполненного оборудования; выполняют необходимые предремонтные испытания, разбирают оборудование и его отдельные узлы, производят дефектацию (определяют объем необходимого ремонта, состояние и степень износа узлов и деталей и оформляют документы на ремонт), оформляют маршрутную карту ремонта и передают неисправные узлы и детали электрооборудования в соответствующие ремонтные отделения, а исправные — в отделение комплектации. Разборочное отделение должно располагать подъемно-транспортными средствами требуемой грузоподъемности, моечными машинами, гидравлическими и винтовыми съемниками, приспособлениями для вывода ротора из статора электродвигателя, станком для извлечения обмоток из пазов статора электродвигателя, автогенным и электросварочным ап-

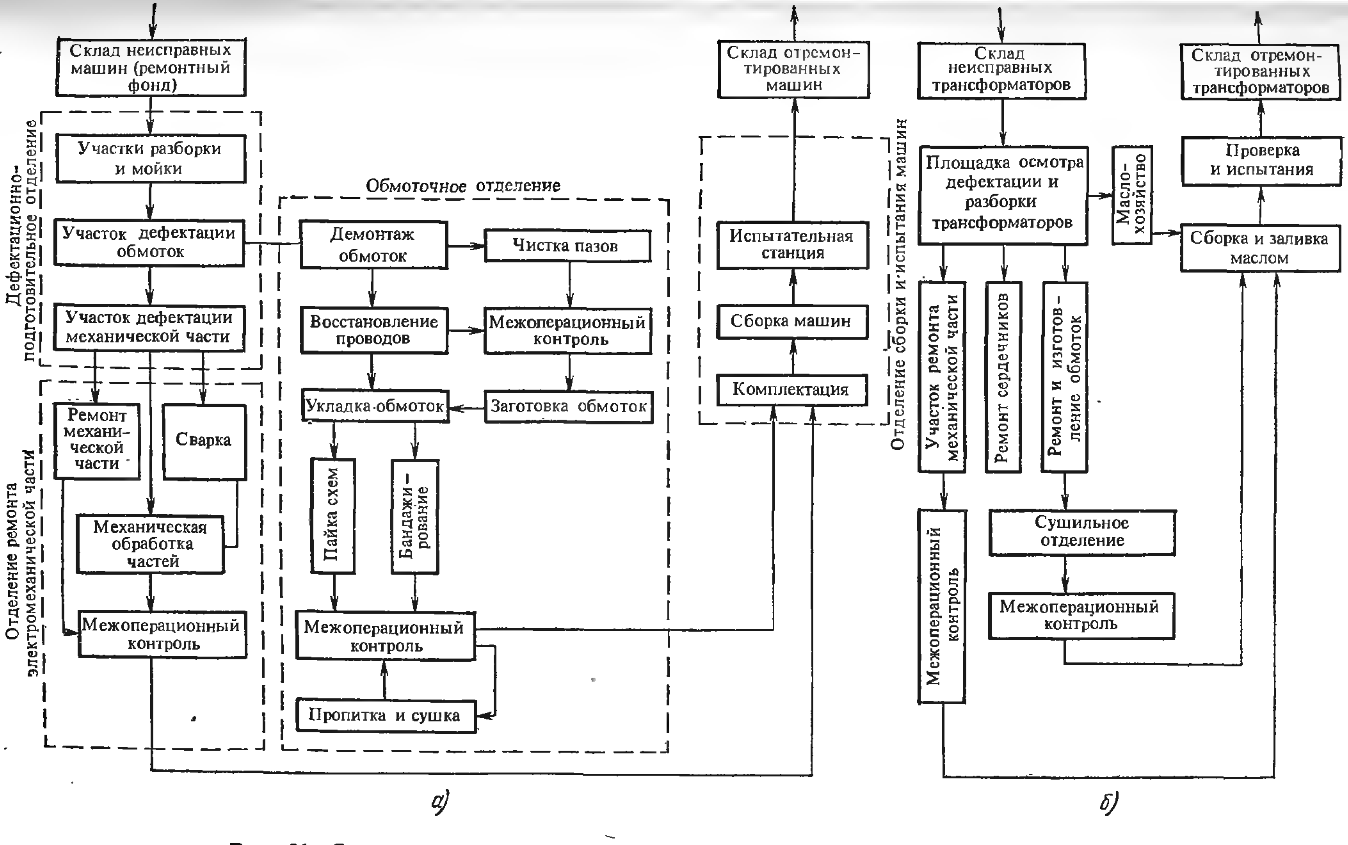


Рис. 81. Структурно-технологические схемы ремонтов электрооборудования: *а* — электрических машин, *б* — силовых трансформаторов

паратами, соответствующими наборами электрифицированных и ручных инструментов для разборки электрооборудования, специальным оборудованием и приспособлениями для разборки электрических машин и аппаратов нестандартного или особого исполнения.

В ремонтно-механическом отделении ремонтируют и изготовляют новые детали электрооборудования (валы, коллекторы, контактные кольца, щеточные механизмы, подшипники скольжения, обмотки короткозамкнутых роторов), производят перешихтовку статоров и роторов электрических машин и магнитопроводов силовых трансформаторов, а также слесарную и механическую обработку различных деталей ремонтируемого электрооборудования. Ремонтно-механическое отделение должно быть оснащено подъемно-транспортными средствами, металлообрабатывающими станками (строгальными, сверлильными, токарными, фрезерными, шлифовальными, долбежными), прессами, гильотинными ножницами для резки металла, электросварочными и газосварочными аппаратами, электрифицированными инструментами, инвентарными и специальными приспособлениями, наборами бригадного инструмента для разборки электрооборудования.

В обмоточном и сушильно-пропиточном отделениях ремонтируют поврежденные и изготовляют новые обмотки электрических машин, силовых трансформаторов, катушек электромагнитов, а также пропитывают и сушат их, восстанавливают изоляцию обмоточных проводов для повторного использования. Обмоточное отделение должно быть оснащено станками для очистки и изолировки проводов, намоточными станками для изготовления обмоток, гильотинными ножницами для резки изоляции, приспособлениями для изготовления и формовки изоляционных деталей, сварочным и паяльным инструментом для соединения проводов обмоток, станками для бандажирования роторов и якорей электрических машин, станком для изготовления деревянных клиньев и др. Кроме того, обмоточный цех должен быть оснащен небольшой испытательной установкой для пооперационного и межоперационного контроля изоляции изготовляемых секций, катушек и обмоток, а также аппаратами контроля правильности сборки и соединения различных схем обмоток.

В необходимых случаях при обмоточном отделении оборудуют специальное помещение, где устанавливают печь для отжига проводов, ванну для их травления и нейтрализации после травления и станок для волочения и калибровки проводов. Помещение, в котором размещается это оборудование, должно быть снабжено соответствующими противопожарными и другими специальными защитными устройствами.

Сушильно-пропиточное отделение оборудуют ваннами для пропитки обмоток, шкафами для сушки и запекания обмоток, емкостями для безопасного хранения лаков и растворителей в количествах, обеспечивающих потребность в них не более чем на одни сутки. Для транспортировки крупногабаритных обмоток

большой массы применяют специальные устройства и подъемно-транспортные средства.

В комплектовочное отделение (комплектовочный участок) направляют отремонтированные детали. Там же комплектуют сборочные узлы ремонтируемого электрооборудования недостающими деталями. Проверенные и полностью скомплектованные сборочные узлы электрооборудования передают в отделение или на участок сборки.

Комплектовочное отделение должно быть оснащено верстаками, стеллажами, необходимыми инструментами и приспособлениями.

В сборочном отделении производят узловую и общую сборку отремонтированного электрооборудования. Отделение сборки оснащают аналогично разборочному отделению с дополнительным оборудованием, приспособлениями и инструментами для статической и динамической балансировки роторов электродвигателей и якорей электрических машин.

При ремонтах электрооборудования часто возникает необходимость в электросварочных, газосварочных, штамповочных, кузнечных и окрасочных работах, выполняемых на отдельных участках ремонтного цеха или его отделений, которые должны быть оснащены необходимым оборудованием и инвентарем.

На испытательной станции испытывают новые конструкции, узлы и детали, предназначенные для замены вышедших из строя, а также производят заключительные (выходные) электрические и механические послеремонтные испытания электрооборудования. Испытательная станция должна быть оснащена высоковольтными испытательными электроустановками и стендами, различными приборами, мерительным инструментом и соответствующими защитными средствами.

Электроремонтный цех должен располагать помещениями с производственными площадями, рассчитанными на количество, массу и габариты ремонтируемого электрооборудования, складами для хранения ремонтного фонда и отремонтированного электрооборудования, инструментальными и материальными кладовыми, подсобными конторскими и бытовыми помещениями, а также помещениями, количество, размеры и назначение которых определяются в каждом конкретном случае сложившимися технологией и условиями выполнения ремонтных работ.

При определении структуры производственных подразделений и необходимого оснащения электроремонтных цехов оборудованием большое значение имеют принятые технологические схемы ремонтов и система управления электрохозяйством предприятия.

В качестве примера на рис. 81 показаны наиболее распространенные структурно-технологические схемы ремонта электрических машин и силовых трансформаторов, занимающих наибольший удельный вес в общем объеме ремонтируемого электрооборудования.

§ 30. Основные виды специального оборудования для ремонта обмоток электрических машин и трансформаторов

Применяемое при ремонте обмоток электрических машин и трансформаторов специальное оборудование можно условно разбить на следующие три группы:

оборудование специальное и применяемое только для ремонта обмоток электрических машин;

оборудование специальное и применяемое только для ремонта обмоток силовых трансформаторов;

оборудование специальное, но применяемое для ремонта обмоток как электрических машин, так и силовых трансформаторов.

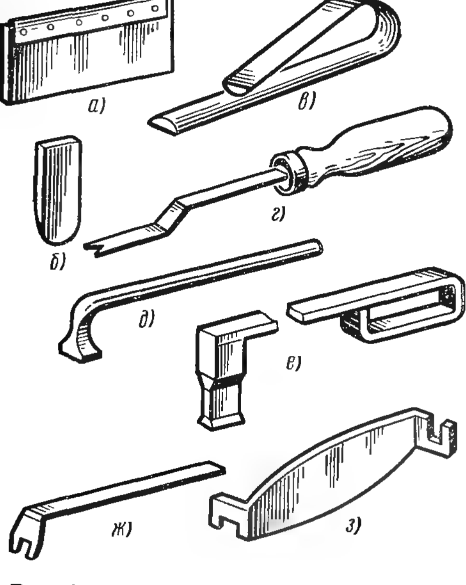


Рис. 82. Набор инструмента обмотчика: *а* — фибровая пластинка, *б* — фибровый язык, *в* — обратный клин, *г* — угловой нож, *д* — выколотка, *е* — топорик, *ж* и *з* — ключи для гибки роторных стержней

К первой группе инструментов и оборудования, применяемых при ремонте и изготовлении обмоток электрических машин, следует, в первую очередь, отнести специальный набор инструмента обмотчика, станки для намотки и изолировки катушек, приспособления для гибки стержней обмоток роторов и изготовления клиньев и другое оборудование, устройство которого рассмотрено ниже.

Специальный набор инструмента обмотчика (рис. 82) применяется при выполнении работ по намотке обмоток статоров, роторов и якорей и, в частности, для укладки и уплотнения проводов в пазах, обрезки выступающей из паза изоляции, гибки медных стержней обмоток роторов и др.

Станок для ручной намотки катушек всыпной обмотки показан на рис. 83. Для намотки катушек на этом станке предварительно разводят обе колодки *1* шаблона на расстояние, определяемое размерами катушки, и закрепляют их в вырезах диска *2*, насаженного на вал. Один конец обмоточного провода закрепляют на шаблоне, а затем, вращая рукоятку *4*, наматывают требуемое количество витков, учитываемое счетчиком *3*, установленным на раме станка и связанным с валом.

Более совершенным является станок для механизированной на-

Рис. 83. Станок для ручной намотки катушек:
1 — колодки шаблона, *2* — диск, *3* — счетчик оборотов, *4* — рукоятка, *5* — станина

Рис. 84. Станок для механизированной намотки катушечных групп:
а — шарнирный шаблон, *б* — кинематическая схема механического привода; *1* — оправка, *2* — зажимная гайка, *3* — фиксирующая планка, *4* — шарнирная планка, *5* — пневматический цилиндр, *6* — ременная передача, *7* — ленточный тормоз, *8* — шаблон, *9* — шарнирный механизм шаблона, *10* — механизм зацепления автоматического останова станка, *11* — электродвигатель, *12* — педаль включения станка

мотки обмоток, позволяющий ускорить процесс намотки катушечной группы.

Механизированный намоточный станок, принципиальная схема которого приведена на рис. 84, снабжен шарнирным шаблоном *8,* а также электродвигательным и механическим приводами, позволяющими последовательно наматывать все катушки, приходящиеся на одну катушечную группу или на всю фазу.

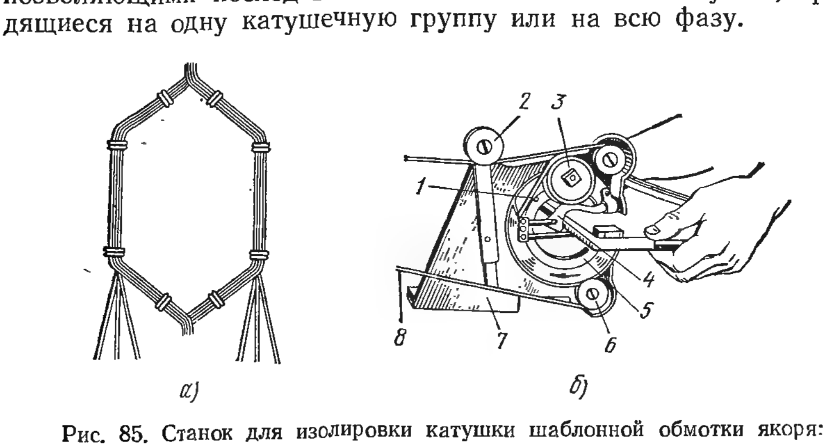


Рис. 85. Станок для изолировки катушки шаблонной обмотки якоря:
а — катушка, подготовленная к изолировке, *б* — изолировка катушки на станке; *1* — изоляционная лента, *2* — натяжной ролик, *3* — ролик с лентой, *4* — упор, *5* — кольцо, *6* — направляющий ролик, *7* — станина, *8* — круглоременная передача

Для намотки катушечной группы на шарнирном шаблоне с механическим приводом заводят конец провода в шаблон *8* и включают станок. Намотав требуемое количество витков, станок автоматически останавливается. Для съема намотанной катушечной группы станок оборудован пневматическим цилиндром *5,* который через тягу, проходящую внутри полого шпинделя, действует на шарнирный механизм *9* шаблона. При этом головки шаблона сдвигаются к центру и освободившаяся катушечная группа легко снимается с шаблона. Готовую катушечную группу укладывают в пазы.

Станок для изолировки катушки шаблонной обмотки (рис. 85) состоит из натяжного ролика *2,* ролика *3* с изоляционной лентой *1,* упора *4,* вращающегося кольца *5* и направляющих роликов *6,* установленных на станине *7.* Станок приводится в движение электродвигателем мощностью 0,6 кВт с круглоременной передачей *8.* Вставив изолируемую катушку в станок до упора, включают электродвигатель, который приводит в движение кольцо с укрепленным на нем роликом *3.* Ролик обегает вокруг катушки (по ее сечению) и наматывает на нее изоляционную ленту. Для равномерной изоляции всей поверхности катушки ее медленно передвигают слева направо по неподвижному упору *4.* Изолированную катушку пропитывают и сушат, после чего вкладывают в пазы сердечника якоря и закрепляют в них деревянными клиньями.

Станки для намотки и изолировки катушек главных полюсов электрических машин постоянного тока показаны на рис. 86.

Намотку катушек главных полюсов выполняют в такой последовательности. Изолируют вручную каркас или шаблон по высоте

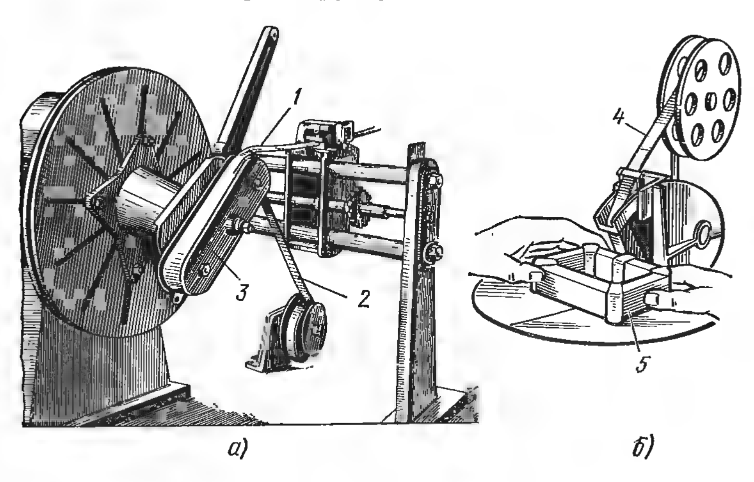


Рис. 86. Станки для изготовления полюсных катушек:

а — для намотки катушки из полосовой меди, *б* — для изолировки намотанной катушки; *1* — асбестовая лента, *2* — микалента, *3* — шаблон, *4* — киперная лента, *5* — полюсная катушка

Рис. 87. Устройство для натяжения бандажной проволоки при бандажировании роторов и якорей электрических машин:

1 — основание, *2* — щека разъемной станины, *3* — диск, *4* — пружина, *5* — штурвал, *6* — динамометр, *7* — гайка, *8* — рычажок динамометра, *9* — конец червячного винта

несколькими слоями изоляционного материала, например микафолия, а затем укрепляют на нем изолированную лакотканью выводную пластину, припаянную к началу обмоточного провода. Устанавливают каркас (шаблон) на станок и наматывают катушку. При этом следят, чтобы провод укладывался равномерно, без зазоров и переходов через витки. Перед намоткой последнего слоя провода на каркас устанавливают вторую выводную пластину, к которой припаивают второй конец катушки припоем ПОС-40. Намотанную катушку сушат и пропитывают, а затем покрывают лаком и сушат на воздухе в течение 10—12 ч. Готовую катушку насаживают на полюс и крепят деревянными клиньями.

Рис. 88. Станок для изготовления пазовых клиньев:

1 — корпус, *2* — фреза, *3* и *7* — верхняя и нижняя плиты, *4* — диафрагменная камера, *5* — гребенка, *6* — возвратная пружина, *8* — заготовка

Устройство для натяжения бандажной проволоки при бандажировании роторов и якорей электрических машин (рис. 87) разработано и внедрено на заводе «Электросила». Основными его частями являются: основание *1*, разъемная станина, состоящая из двух щек *2*, механизм прижима, состоящий из штурвала *5*, жестко сцепленного с винтом *9* и неподвижной гайкой *7*, пружина *4* и два прижимных диска *3*, между которыми происходит торможение проволоки. Бандажную проволоку направляют через систему роликов (см. пунктирные линии на рисунке) и зажимают штурвалом между дисками, которые не вращаются, но свободно перемещаются относительно друг друга. Натяг проволоки, создаваемый дисками, зависит от усилия сжатия их пружиной. Перемещая винт, воздействуют на упор передаточного рычажка *8* динамометра *6*, стрелка которого показывает усилие сжатия, т. е. натяг проволоки.

Станок СПК-5 (рис. 88) применяется для изготовления из дерева (бук, береза и др.) или изоляционных материалов (фибра, гетинакс, текстолит) клиньев различных размеров для пазов статоров, роторов и якорей электрических машин. Станок работает следующим образом. Заготовка *8* заводится под гребенку *5*, а затем поворотом рукоятки подается сжатый воздух, который, воздействуя на диафрагму и систему штоков, опускает гребенку на заготовку. Заготовка разрезается при продольном механическом

перемещении стола фрезерного станка относительно вращающейся фрезы 2. За каждый проход стола нарезается пять клиньев, форма и размеры которых зависят от формы и размеров режущих частей фрезы, а также от высоты подъема стола относительно нее. При выходе фрезы из пазов гребенка возвращается в исходное положение под действием пружины 6.

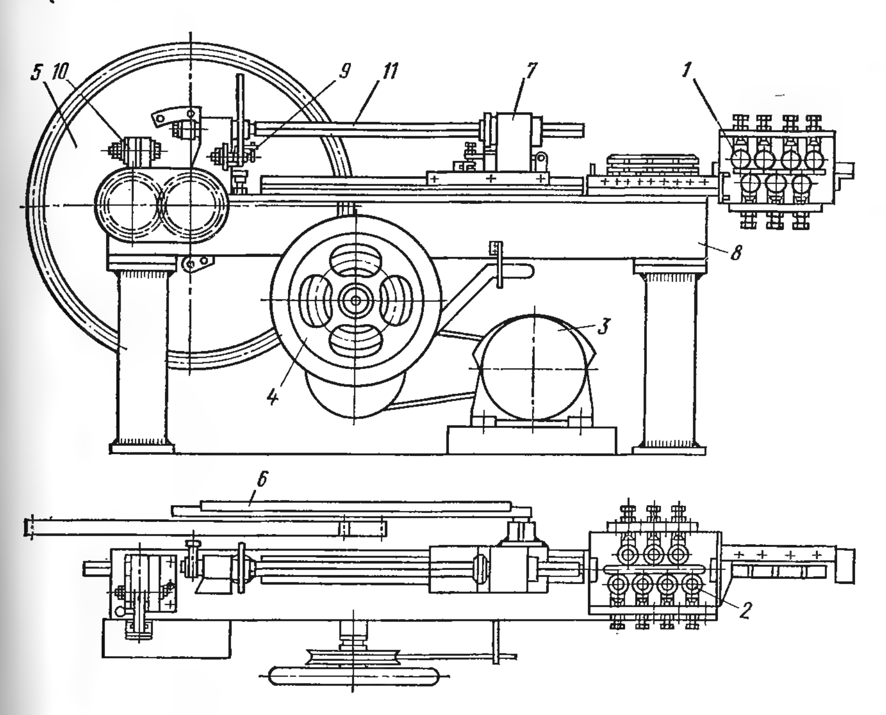


Рис. 89. Станок для заготовки медных стержней обмотки

Станок полуавтоматический завода «Динамо» (рис. 89) служит для мерной резки заготовок стержней из медных прутков и шин, поступающих обычно свернутыми в виде бухт.

Бухту надевают на сматывающее устройство станка, а конец прутка или шины вставляют между роликами *1* и *2*, рихтующими пруток в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Станок приводится в действие электродвигателем *3*, который через шестеренчатый редуктор *4* вращает зубчатое колесо *5*. В радиальной прорези колеса *5* переставляется палец шатунно-кривошипного механизма *6* в зависимости от необходимой длины отрезаемого стержня в пределах от 300 до 800 мм.

При работе станка конец прутка захватывается зажимом, который укреплен на ползуне *7*, передвигающемся по направляющим станины *8*. В конце хода ползуна пруток освобождается и зажимается губками *9*, расположенными вблизи ножа *10*, который

отрубает от бухты меди стержень требуемой длины. Губки 9 зажима приводятся в движение поворотом штанги *11.*

Станок работает полуавтоматически. Рабочий вводит конец прутка в зажим на ползуне, устанавливает палец кривошипного механизма в зависимости от длины нарезаемых стержней и пускает станок в ход. Все остальные операции производятся автоматически, пока не будет использована вся бухта меди.

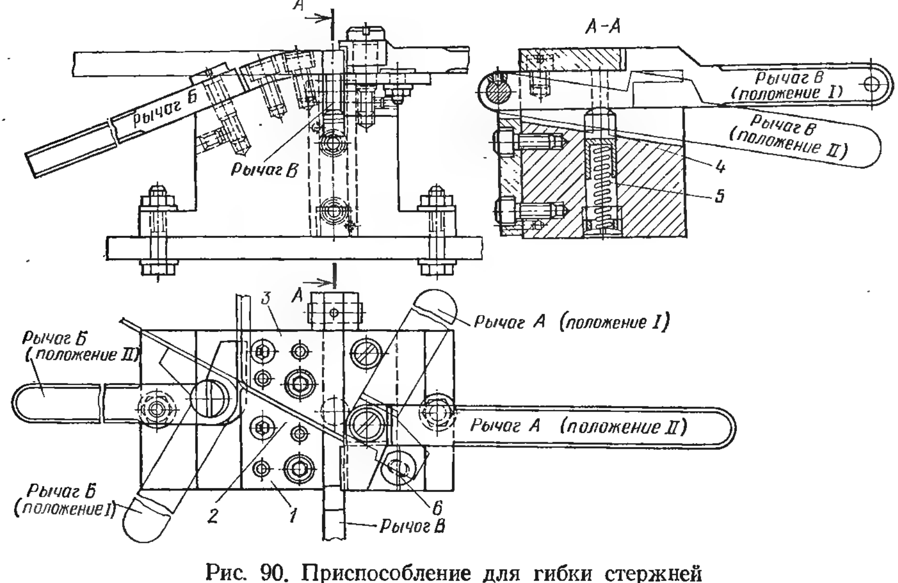


Рис. 90. Приспособление для гибки стержней

Приспособление для гибки стержней (рис. 90) представляет собой конструктивно простое устройство, состоящее из двух плит и системы рычагов. Гибка стержней в этом приспособлении выполняется в такой последовательности. Вставляют стержень в щель *2,* образованную плитами *1* и *3,* и доводят до упора *6,* а затем поворотом рычага *А* из положения *I* в положение *II* загибают конец этого стержня на заданный угол. Далее поворотом рычага *Б* из положения *I* в положение *II,* выгибают второй угол стержня, возвращают рычаги *А* и *Б* в исходное положение и вынимают загнутый стержень из приспособления. Возврат рычага *В* в исходное положение осуществляется толкателем *4*, отжимаемым пружиной *5*.

Ко второй группе оборудования, применяемого при ремонте и изготовлении обмоток трансформаторов, можно отнести станки для намотки цилиндрических обмоток, изготовления изоляционных деталей трансформатора, нанесения изоляционных покрытий на стальные пластины магнитопровода и другие, устройство которых рассмотрено ниже.

Намотку цилиндрических обмоток силовых трансформаторов I—III габаритов производят на консольных и козловых намоточных станках.

Консольный намоточный станок (рис. 91, *а*) предназначен для намотки цилиндрических обмоток трансформаторов мощностью до 630 кВ·А. Электродвигатель *1* вмонтирован в станину *2* намо-

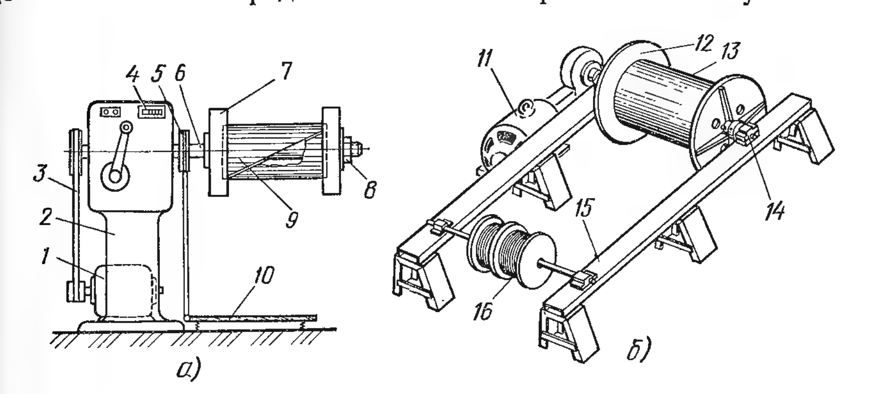


Рис. 91. Станки для намотки обмоток силовых трансформаторов:
а — консольный с разъемным деревянным шаблоном, *б* — козловой с разъемным стальным шаблоном; *1* — электродвигатель, *2* — станина, *3* — ременная передача, *4* — счетчик, *5* — муфта сцепления, *6* — шпиндель, *7* — текстолитовый диск, *8* — гайка, *9* — клинья шаблона, *10* — педаль, *11* — электродвигатель с редуктором, *12* — стальной диск, *13* — разъемный шаблон, *14* — разъемный деревянный подшипник, *15* — опорная конструкция, *16* — барабан с обмоточным проводом

точного станка. Шаблон, укрепленный на шпинделе станка, представляет собой два встречных деревянных клина *9*, зажатых текстолитовыми дисками *7* и закрепленных гайкой *8*. Станок снабжен счетчиком *4*, учитывающим число поворотов шпинделя, а следовательно, и число витков провода, наматываемых на шаблон. Готовая обмотка легко снимается с шаблона: для этого достаточно отвернуть гайку, снять правый диск и развести клинья шаблона. Пуск и остановку шаблона производят педалью *10*, механически соединенной (с помощью тяги) с муфтой сцепления *5*.

Намотку обмоток более мощных (свыше 630 кВ·А) трансформаторов производят на *козловом намоточном станке КНС-200* (рис. 91, *б*), состоящем из швеллерной опорной конструкции *15*, стального шаблона *13* и электродвигателя *1* с редуктором. Шаблон представляет собой разрезной цилиндр, изготовленный из листовой стали толщиной 2—3 мм. В разрезе цилиндра установлена и закреплена деревянная планка. Удалив планку, после окончания намотки легко снимают готовую обмотку с шаблона. В стальных дисках имеется несколько радиальных прорезей овальной формы, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. В прорезях дисков устанавливают кулачки, служащие для крепления на них шаблонов. В дисках имеются также вырезы для крепления в них реек с дистанционными прокладками. Конструкция дисков (наличие вырезов и возможность установки в них кулачков) поз-

воляет наматывать на этом станке обмотки различных диаметров путем установки на дисках шаблонов соответствующих размеров.

Намотку винтовых обмоток трансформаторов I—III габаритов наиболее целесообразно производить на одном из намоточных станков серии ТТ.

Намоточный станок ТТ-21 (рис. 92) состоит из передней бабки *1* с рукоятками переключений *3*, планшайбы *4*, задней бабки *9*,

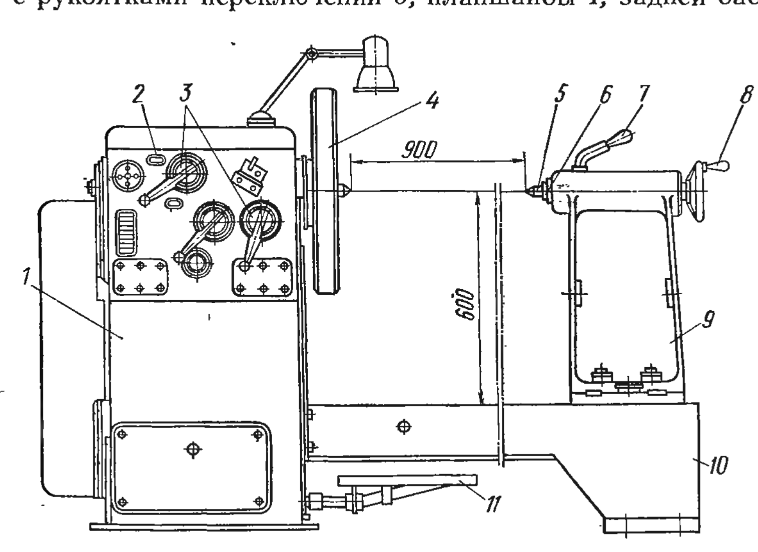


Рис. 92. Намоточный станок ТТ-21:

1 — передняя бабка, *2* — смотровой глазок, *3* — рукоятки переключения частоты вращения, *4* — планшайба, *5* — вращающийся центр, *6* — пиноль, *7* — рукоятка закрепления пиноли, *8* — маховик перемещения пиноли, *9* — задняя бабка, *10* — станина (плита), *11* — педальный выключатель

установленной на станине *10*, привода и педали *11* пуска станка в работу.

При включении станка в работу вращение передается от электродвигателя через клиноременную передачу и систему зубчатых колес коробки скоростей планшайбе *4*. Изменение частоты вращения шпинделя осуществляется с помощью рукояток *3*, одна из которых, имея нейтральное положение, позволяет поворачивать планшайбу на требуемый угол поворота. Задняя бабка *9*, состоящая из корпуса, пиноли *6*, в которую вставляется вращающийся центр *5*, маховика *8* для перемещения пиноли и рукоятки *7* для закрепления пиноли, устанавливается на станине *10*. В станине имеются Т-образные пазы для перемещения и закрепления задней бабки. Диаметр планшайбы — 620 мм, частота вращения — от 16 до 160 об/мин, максимальный диаметр наматываемой обмотки — 1000 мм.

Третью группу оборудования (инструмента, приспособлений, устройств, станков), применяемого при изготовлении обмоток, составляют устройства для наложения непрерывной изоляции на

обмоточные провода, входящие в состав изолировочных и оплеточных станков, оплеточные и лакировальные станки, станки для очистки старого провода и для заготовки изоляции, приспособления для пайки проводов, а также различные другие устройства, краткое описание которых приводится ниже.

Устройства для механизации наложения непрерывной изоляции на обмоточные провода используются во многих видах изолировочных и оплеточных станков, предназначенных для выполнения как витковой, так и корпусной изоляции. Одним из наиболее распространенных видов устройств такого рода является так называемый механический обмотчик (рис. 93). Обмоточный провод *1*, на который нужно нанести слой непрерывной изоляции, пропускают в отверстие диска *2*. На штырях диска устанавливаются на барабанах с небольшим наклоном один или два рулона с изоляционной лентой *3*. При вращении диска лента из рулона обертывается вокруг провода. Скорость движения провода и частота вращения диска согласованы так, что за время одного оборота диска провод продвигается на половину ширины ленты. Таким образом на провод накладывается непрерывная изоляция вполнахлеста, причем при одном рулоне с лентой — в один слой, а при двух рулонах — сразу в два слоя. Для создания нужного натяжения ленты барабаны с рулонами притормаживаются.

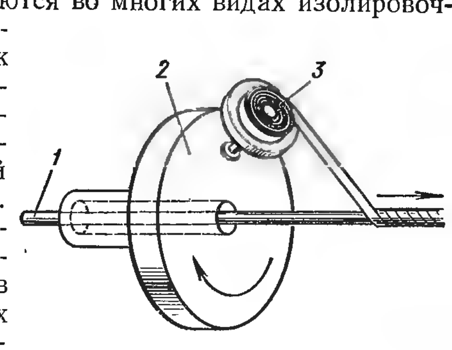


Рис. 93. Механический обмотчик:
1 — обмоточный провод, *2* — диск, *3* — рулон изоляционной ленты

Оплеточные станки применяются для восстановления изоляции обмоточных проводов, снятых с поврежденной обмотки, в целях их повторного использования.

Станок для очистки проводов от старой изоляции, схема которого показана на рис. 94, состоит из станины *1*, на которой установлены рихтующее устройство *2*, узел резки изоляции *3*, узел очистки изоляции *4*, привод *5* с тянущим барабаном *6* приемного устройства *8* с механическим укладчиком *7*. Для волочения проволоки на станине устанавливают фильеродержатель *9* с калибрующей проволоку фильерой, а на барабан *6* привода — коническую планшайбу.

Провод, последовательно проходя через все узлы и устройства станка, очищается от старой изоляции, рихтуется, калибруется и наматывается на барабан приемного устройства. Очищенный от изоляции провод отжигают, чтобы снять внутренние напряжения с нагартованных поверхностных слоев металла проволоки.

При необходимости частичной замены поврежденных пластин магнитопровода, а также сердечников статоров и роторов вновь изготовленные из электротехнической стали аналогичные детали

предварительно покрывают пленкой изоляционного лака. Для лакирования пластин на специализированных электроремонтных предприятиях применяют лакировальные станки, а для последующего запекания лаковой пленки — специальные печи.

Один из наиболее простых *лакировальных станков* показан на рис. 95. Он состоит из верхнего бачка *1* с запорным краном *2*, двух валов *5* и *6* с шестернями *7* на концах и ванны *9*. Верхний бачок соединен с трубкой *3*, имеющей по всей длине мелкие отверстия, служащие для обеспечения равномерной подачи лака на поверхность верхнего вала *5*. Верхний вал *5* прижат к нижнему *6* с помощью установочных болтов *12*, между которыми помещен набор прокладок *11* из листовой резины. Валы обтянуты листовой резиной толщиной 5—7 мм. Нижний вал расположен в ванне, в которой имеется патрубок *10* для отвода лишнего лака из ванны по трубке, один конец которой надевают на патрубок, а другой опускают в ведро или жестяную банку. Лакировальный станок приводят в движение рукояткой *8*, вращаемой или вручную рабочим, или электродвигателем мощностью 0,8 кВт с редуктором, имеющим необходимое передаточное число. Валы *5* и *6* должны вращаться с частотой 22—24 об/мин.

На специализированных ремонтных предприятиях лакировальный станок соединен с нагревательной печью; таким образом создается конвейерная установка, на которой производят лакирование и запечку лаковой пленки стальных пластин.

Сушка и запечка обмоток электрических машин и силовых трансформаторов являются одними из важнейших технологических процессов изготовления обмоток. Сушку производят для удаления влаги из твердой изоляции обмоток, чтобы обеспечить возможно более высокую электрическую прочность изоляции. Запечку обмоток производят для придания им большей стойкости против механических воздействий.

Рис. 94. Станок для очистки и волочения провода:
1 — станина, *2* — устройство рихтовки провода, *3* — узел резки изоляции, *4* — узел очистки изоляции, *5* — привод, *6* — тянущий барабан, *7* — проводоукладчик со ступенчатой подачей каретки, *8* — приемное устройство, *9* — фильеродержатель

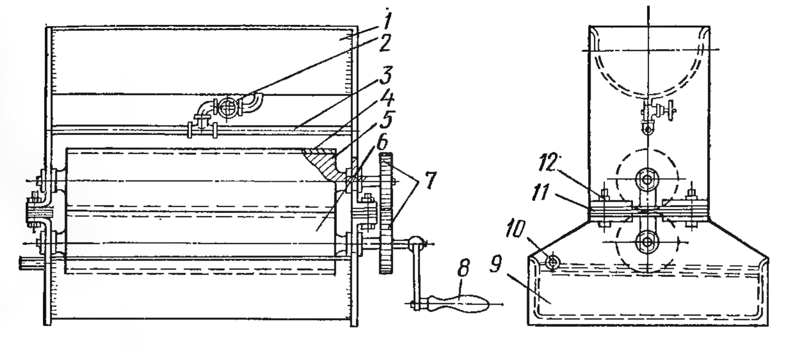


Рис. 95. Лакировальный станок:

1 — верхний бачок, *2* — запорный кран, *3* — трубка с отверстиями, *4* — покрытие из резины, *5* и *6* — верхний и нижний валы, *7* — шестерни, *8* — рукоятка, *9* — нижняя ванна, *10* — патрубок, *11* — набор прокладок, *12* — установочный болт

На специализированных электроремонтных предприятиях сушку обмоток производят в *калориферных* (рис. 96) *или вакуумных* (рис. 97) печах.

Более эффективной является сушка в вакуумных печах, где переход влаги с поверхности электроизоляционных материалов в окружающую среду обусловлен разностью давлений пара непосредственно на поверхности материала и в окружающей среде: чем ниже давление паров в окружающей среде, тем интенсивнее будет происходить удаление влаги с поверхности материала.

В практике ремонта обмоток электрических машин и трансформаторов используются также и другие виды различных приспособлений, устройств и инструментов, о конструкции и способах применения которых рассказано в гл. VII, VIII, IX и X.

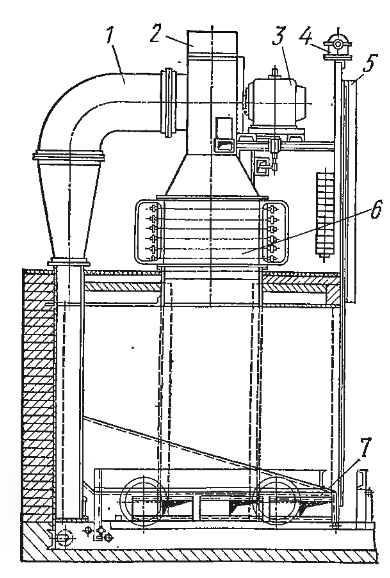


Рис. 96. Калориферная печь для сушки обмоток:

1 — всасывающий патрубок, *2* — вентилятор, *3* — электродвигатель, *4* — механизм подъема заслонки, *5* — заслонка, *6* — калорифер, *7* — тележка

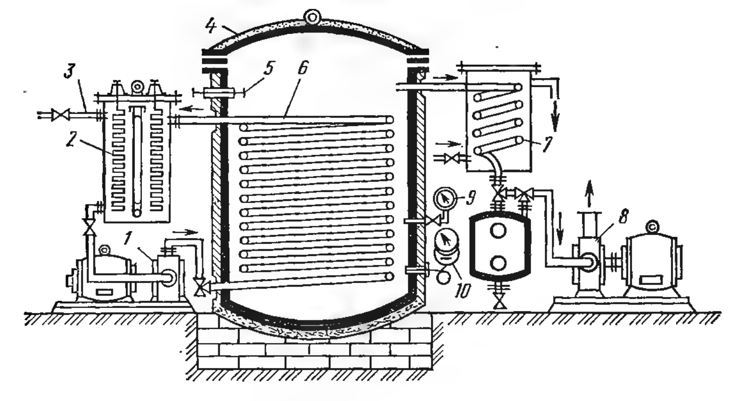


Рис. 97. Вакуумная печь для сушки обмоток:

1 — циркуляционный насос, 2 — водяной котел, 3 — питательная труба, 4 — съемная крышка бака, 5 — проходной изолятор для контроля сопротивления изоляции обмоток, 6 — змеевик, 7 — водяной охладитель, 8 — вакуумный насос, 9 — вакуумметр, 10 — термометр

Контрольные вопросы

1. Расскажите о порядке проведения ремонта электрооборудования.
2. Из каких предметов состоит набор специальных инструментов электромонтера-обмотчика электрических машин?
3. Какие намоточные станки вам известны и как они устроены?
4. Для чего производится отжиг обмоточного провода после его калибровки?

ГЛАВА VII
ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ

§ 31. Разметка и нарезка заготовок из листовых изоляционных материалов

Многие изоляционные детали трансформаторов и электрических машин изготовляются из электроизоляционного маслостойкого картона — электрокартона. При нормальных условиях хранения листы электрокартона содержат 8—10% влаги. После ее удаления линейные размеры листа уменьшаются по длине примерно на 0,5%, по ширине — до 1,5%. При изготовлении из листов электрокартона изоляционных деталей прямоугольной формы их разметка выполняется так, чтобы наибольшие размеры совпадали с длиной листа. Электрокартон, идущий на изготовление дистанционных прокладок и пазовой изоляции для обмоток, сортируют по толщине таким образом, чтобы отклонения толщины листов были минимальными.

Раскрой и резка электроизоляционных материалов должны быть наиболее рациональными и экономичными.

При правильном рациональном раскрое материала (что фиксируется в картах раскроя), а также при надлежащей организации

производства отходы получаются небольшими. Показателем, характеризующим экономичность раскроя, служит коэффициент использования листа: $k_л = NS_д/(BL)$, где N — число деталей, получаемых из листа; $S_д$ — площадь детали; B и L — ширина и длина листа.

Значительное число деталей из электрокартона являются массовыми. Раскрой листов под эти детали производится обычно для всей партии, при этом получаются наименьшие отходы. При раскрое следует устанавливать рациональные размеры заготовок, а также учитывать возможность использования отходов для изготовления других деталей меньших размеров. Следует стремиться к безотходному раскрою, но при этом надо помнить о различной величине усадки электрокартона вдоль и поперек листа, а также учитывать механическую прочность материала, которая зависит от направления волокон.

Одной из первых технологических операций производства изоляции является резка электрокартона на полосы, а полос — на отдельные штучные заготовки деталей.

Разметку и нарезку заготовок изоляционных деталей обычно производят на заготовительных участках, откуда эти детали в скомплектованном виде поступают на участок намотки обмоток или их укладки в пазы сердечников.

Раскрой изоляционных материалов на специальных участках обеспечивает: высокую производительность труда в результате того, что прокладки нарезают в больших количествах и по определенной технологии; точность размеров, особенно для пазовых прокладок, размеры которых ограничены шириной паза; чистоту кромок, отсутствие заусенцев и вмятин.

Изоляционные материалы, применяемые при изготовлении обмоток и в качестве пазовой изоляции, обычно поступают в листах и рулонах. Листовую изоляцию разрезают на заготовки требуемых размеров ручными или механизированными ножницами; рулоны же на отдельные полосы чаще режут роликовыми ножницами или специальными станками.

Ручные рычажные ножницы благодаря простоте конструкции и универсальности широко применяют для резки изоляции, особенно в электроремонтных цехах. Они состоят из подвижного и неподвижного ножей и стола. Неподвижный нож закреплен на столе, а подвижный — на рычаге ножниц. Рычаг скреплен со столом осью, вокруг которой он поворачивается на определенный угол. С одной стороны рычага имеется противовес для облегчения поворота рычага, а с другой — рукоятка, за которую рычаг с подвижным ножом опускается и поднимается. На столе станка расположен передвижной упор для установки разрезаемых листов на определенную ширину. Однако работа на ручных ножницах тяжела и малопроизводительна. Поэтому в крупных ремонтных цехах ножницы зачастую механизируют, пристраивая к ним шатунно-кривошипный механизм, с помощью которого рычаг ножниц приводится в действие от электродвигателя.

На рис. 98 показан станок ОМ-1 конструкции ВНИИТэлектромаша для разрезания рулонных изоляционных материалов: полиэтилентерефталатной пленки, картонов и др. Рулон изоляционного материала шириной 100—250 мм закрепляют на тормозном валу между двумя конусами (тормозной вал расположен с тыльной части станка). С тормозного вала изоляционный материал пропуска-

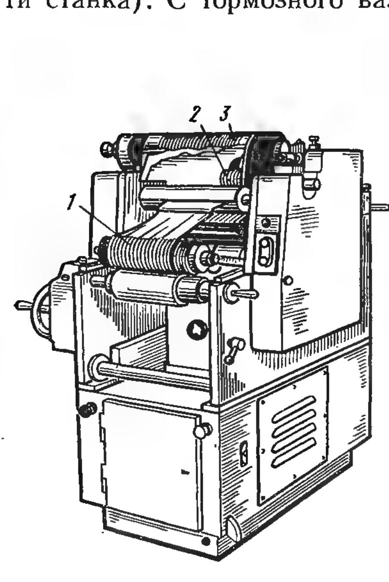


Рис. 98. Станок ОМ-1 для резки рулонных изоляционных материалов

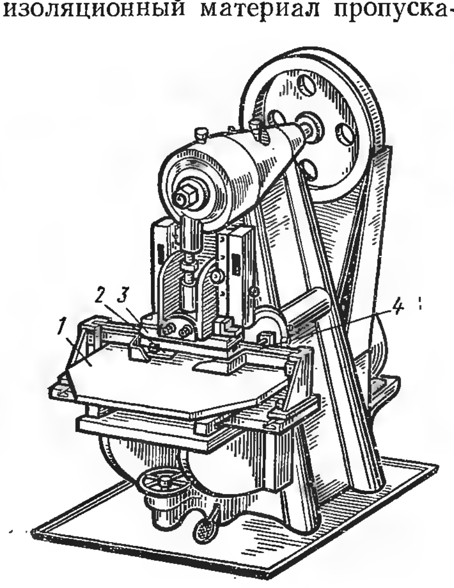


Рис. 99. Гильотинный штамп на эксцентриковом прессе

ется через приподнятый верхний вал с блоком ножей. При опускании блока верхних ножей включается станок и начинается резка изоляционного материала.

Ножи, которыми разрезают изоляционные материалы, представляют собой блоки дисков, закрепленные на нижнем *2* и верхнем *3* валах, со сменными прокладками шириной, равной ширине нарезаемого материала. Разрезанная лента закрепляется на намоточном валу *1*. Последний по заполнении его лентой снимают со станка для удаления роликов нарезанной ленты.

Блоки ножей и намоточный вал приводятся во вращение от электродвигателя через коробку скоростей.

Для резки ряда видов изоляционных материалов применяют гильотинный штамп (рис. 99), установленный на эксцентриковом прессе. Материал в процессе резки прижимается к столу *1* планкой *2*, прикрепленной к верхней плите *3*. Материал подается до упора *4*. Положение его регулируется в зависимости от требуемой ширины полосы.

Большие листы электроизоляционных материалов режут по длине на дисковых ножницах.

При ремонте обмоток электрических машин и трансформаторов зачастую требуется небольшое количество тех или иных деталей круглой конфигурации из листового электроизоляционного материала. Делать для их изготовления специальные штампы нецеле-

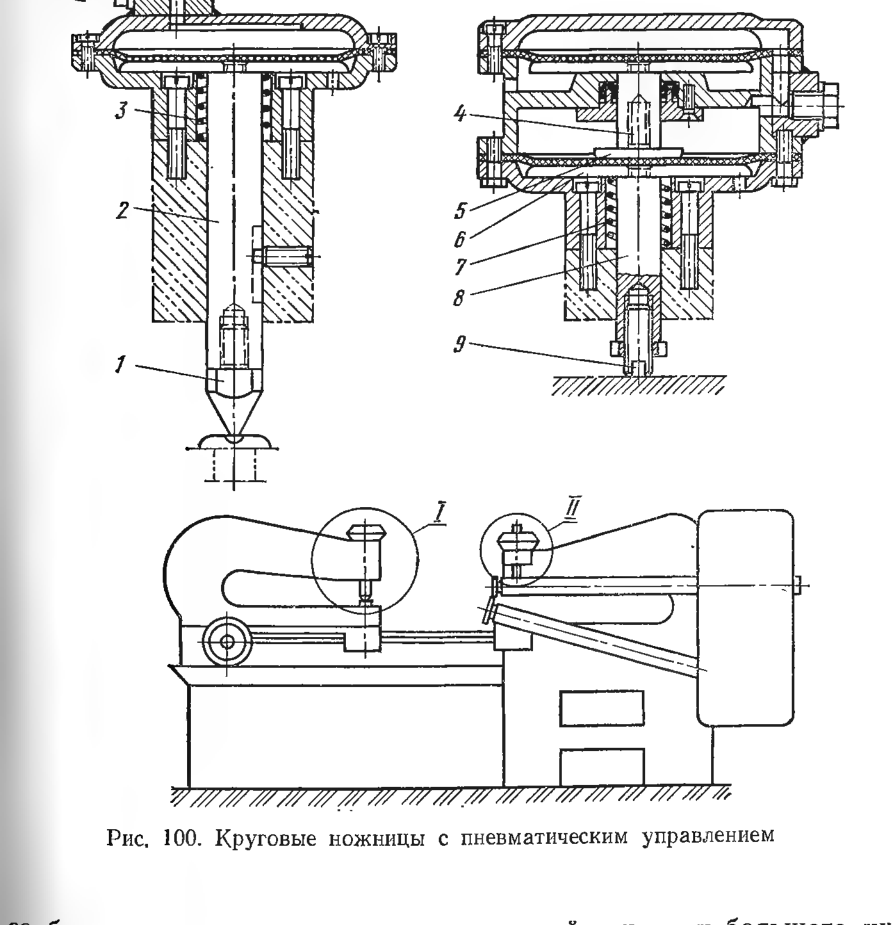


Рис. 100. Круговые ножницы с пневматическим управлением

сообразно из-за малого количества каждой детали и большого их разнообразия.

Круглые детали вырезают из электрокартона на круговых ножницах (рис. 100) с пневматическим управлением. Заготовка зажимается пневматической диафрагменной камерой (узел *I*) со штоком *2*, на конце которого закреплен прижимной центр *1*. Шток возвращается в исходное положение пружиной *3*. Подвижный нож подводится и отводится с помощью второй диафрагменной камеры (узел *II*). Давление от диафрагмы верхней части через вспомогательный грибовидный шток *4* с диском *5*, диск *6* и диафрагму ниж-

ней части передается на шток *8* с регулировочным упором *9* на конце.

При заполнении камеры сжатым воздухом шток *8* перемещается и передает усилие на шпиндель подвижного ножа, который опускается и режет материал. Когда воздух удаляется из камеры,

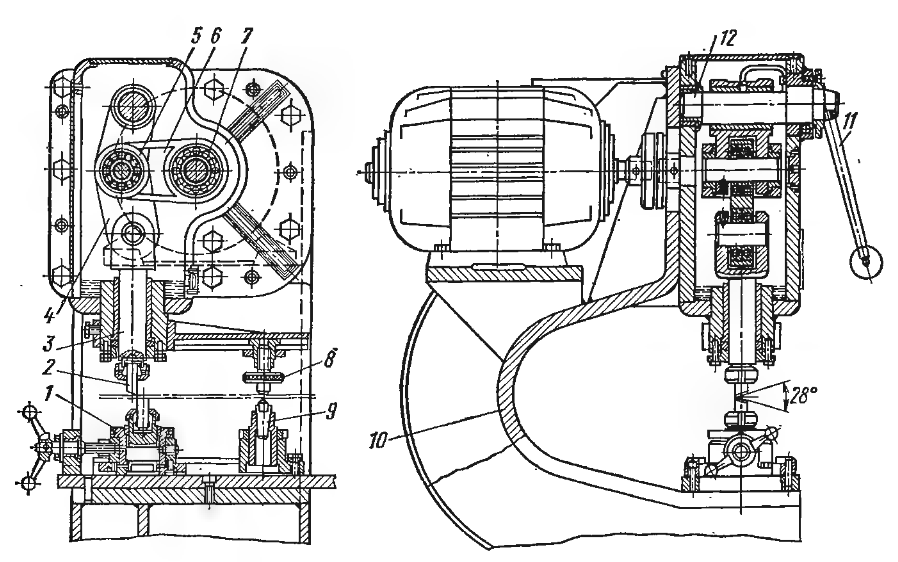


Рис. 101. Вибрационные ножницы

шток *8* поднимается и нож со шпинделем под действием пружины *7* возвращается в исходное положение.

Управление ножницами производится одним трехпозиционным краном. Ножницы рассчитаны на резку кружков диаметром до 900 мм. Использование пневматики на круговых ножницах резко сокращает вспомогательное время и улучшает условия труда.

Во всяком производстве имеются детали, применяемые в малых количествах (одна-две на машину), для которых нерационально делать специальную технологическую оснастку. Такие детали вырезают на вибрационных ножницах (рис. 101). Электродвигатель жесткой муфтой соединен с головкой *7* шатуна *6*, являющейся эксцентриком. Вторая головка *5* шатуна шарнирно соединена с системой «ломающихся» рычагов *4*, передающих колебания на шток *3*. На конце его в цанге закреплен резец *2*. Весь вибрирующий механизм помещен в коробку, в которую подается смазка шестеренчатым насосом.

На нижней части станины *10* установлен нижний резцедержатель *1* с закрепленным в нем резцом. С помощью маховичка можно регулировать зазор между резцами в зависимости от толщины вырезаемого материала. Угол раствора резцов 28°, а угол заточки 14°, что обеспечивает втягивание материала в зон резания. Для

вырезки круглых деталей заготовку устанавливают в центр *9* и поджимают винтом *8*. Одновременно заменяют ножи, на что требуется мало времени.

Если нужно прорезать отверстия, то с помощью рукоятки *11* поворачивают валик *12*, имеющий эксцентриковые шейки. Резец *2* поднимается и среднюю часть заготовки вводят в зону резания. После этого при включенном двигателе постепенно опускают резец *2*. Валик *12* фиксируется в верхнем и нижнем положениях. С по-

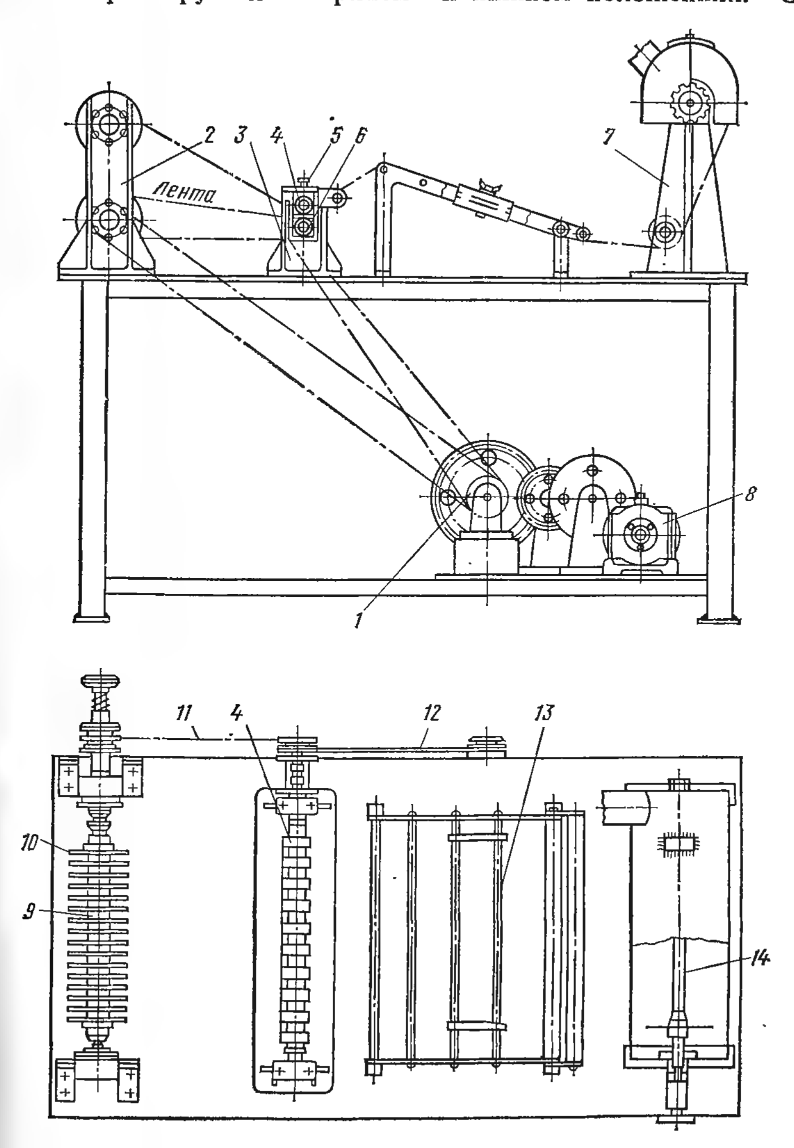


Рис. 102. Роликовые ножницы

мощью вибрационных ножниц можно вырезать детали как из металлов, так и из изоляционных материалов.

Такие изоляционные материалы, как микалента, стеклолента, лакоткань, поступают в виде рулонов и разрезаются на ленты требуемой ширины на роликовых ножницах (рис. 102). Режущие валки *4* и *6* состоят из дисковых ножей, которые набраны с промежуточными втулками на валики. Ширина ножей равна ширине разрезаемых лент.

Валки вращаются в подшипниках стойки *3* и сжимаются болтом *5*. Нижний валок приводится во вращение от электродвигателя *8* через шестеренчатый редуктор *1* клиновым ремнем *12*. Разрезаемый рулон изоляционного материала надевают на свободно вращающуюся оправку *14*, опирающуюся на подшипники стойки *7*.

Полоса разрезаемого материала через направляющий ролик и решетку *13* подается к режущим валкам. Разрезанные ленты наматываются на приемные валки стойки *2*, состоящие из текстолитовых втулок *9* и перегородок *10*. Когда приемные валки заполняются лентой, их снимают и ставят новые. Разбирают приемные валки вне станка. Вращение нижнему приемному валку сообщается от редуктора через роликовую цепь *11*. Между собой приемные валки также соединены роликовой цепью. Для удаления выделяемой при резании пыли станок снабжен отсасывающей вентиляцией. Роликовые ножницы обладают высокой производительностью и работать на них легко.

Для лучшего облегания обмоток лента из лакоткани должна быть нарезана так, чтобы основа ткани была расположена под углом к кромке ленты. Поэтому раньше обычно кусок лакоткани разрезали на ленты в диагональном направлении, что препятствовало внедрению механизации и создавало большие отходы в углах куска. В настоящее время вырабатывают лакоткани, у которых основа расположена под углом к кромке куска, что позволяет механизировать резание и уменьшить отходы материала.

Вырезку деталей сложной конфигурации производят по предварительно выполненной разметке. Для этого лист электрокартона кладут на специальный стол и с помощью циркуля, угольника, линейки и шаблонов цветным карандашом производят разметку детали в соответствии с чертежом.

§ 32. Штамповка изоляционных деталей

Штамповка является одним из распространенных способов изготовления изоляционных деталей из электрокартона различной толщины.

Основные преимущества штамповки — высокая точность детали, отсутствие необходимости дополнительной обработки кромок, возможность наиболее рационального раскроя материала, малые отходы материала при производстве деталей.

Для массового изготовления изоляционных деталей из электро-

картона методом штамповки применяют прорубные и универсальные штампы, а также различные приспособления.

Так, например, для изготовления дистанционных прокладок применяют преимущественно прорубные штампы, один из которых показан на рис. 103, *а*. Ширина пуансона и матрицы выполняется

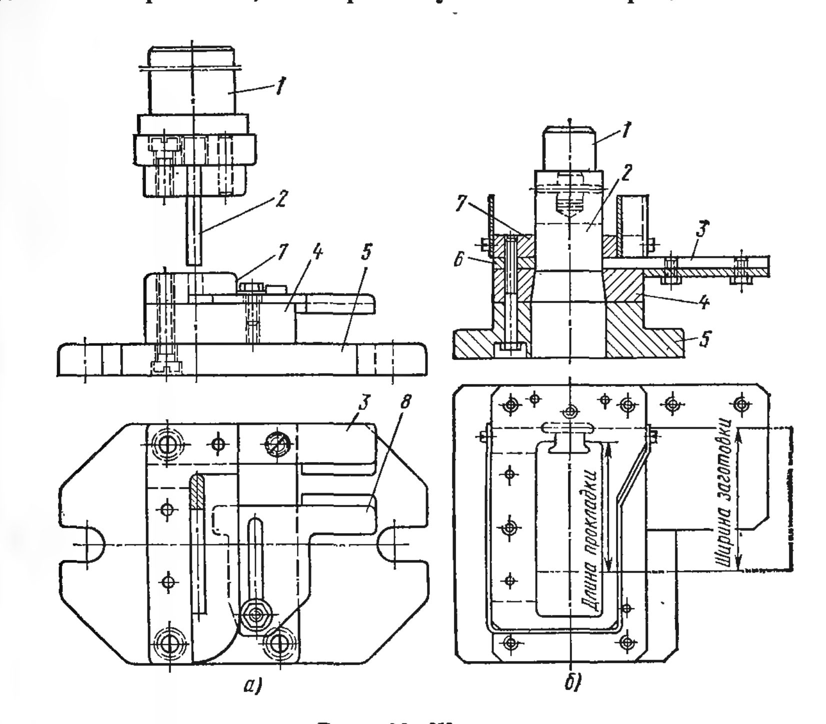


Рис. 103. Штампы:

а — вырубной, *б* — универсальный; *1* — хвостовик, *2* — пуансон, *3* — направляющая планка, *4* — матрица, *5* — подушка, *6* — упор, *7* — съемник, *8* — регулировочный упор

в соответствии со стандартизованной шириной прокладки. Регулирование длины прокладки ведется за счет изменения ширины полосы заготовки.

На ходовые размеры прокладок изготовляют мерные штампы, позволяющие штамповать прокладки со всеми четырьмя закругленными углами и с двумя фасонными пазами. Кроме того, на мерных штампах можно производить штамповку прокладок из отходов картона, имеющих только один прямой край.

Универсальный штамп для изготовления методом вырубки такой массовой детали, как заклепка из клееного электрокартона, показан на рис. 103, *б*. С помощью этого штампа различную длину заклепок получают, применяя заготовки мерной длины, по которой устанавливают регулируемый упор.

Существует множество штампов разнообразных конструкций для изготовления практически любых требуемых изоляционных де-

талей трансформаторов и электрических машин, но они принципиально мало чем отличаются от описанных выше штампов. В основном штампы отличаются друг от друга размерами и некоторыми особенностями конструктивного исполнения.

§ 33. Прессование и запекание заготовок и деталей

Прессование и запекание заготовок и деталей изоляции трансформаторов и электрических машин осуществляются с целью придания деталям дополнительных качеств, например повышенной теплостойкости или электрической прочности, влагостойкости и др.

Прессованием изготовляются многие изоляционные детали толщиной более 5 мм. Их изготовляют из прессованного (клееного) картона.

Склеивание листового картона производят бакелитовым лаком, наносимым на поверхность половины числа соединяемых листов или заготовок. Бакелитовый лак разбавляют этиловым спиртом до плотности 0,95—0,97 г/см^3 при 20°С и заливают в ванну лакировальной машины. При вращении валки смачиваются лаком.

Листы электрокартона, из которых будут нарезаться заготовки (рейки, колодки, планки), или уже готовые заготовки будущих деталей (шайбы) пропускают между валками и наносят на них слой лака. Лакированный картон проходит воздушную сушку в течение 8—10 ч. Из высушенных листов нарезают заготовки. После этого производят набор пакета из лакированных заготовок.

Во избежание смещения отдельных пластин во время прессования собранные пакеты увязывают по всей длине лентой из кабельной бумаги. После прессования ленту снимают. Прессование деталей обычно производят на гидравлическом прессе этажерочного типа.

На плиты пресса, нагретые до 125—140°С, укладывают собранные пакеты или заготовки так, чтобы они не соприкасались и были расположены равномерно по всей площади плиты (во избежание деформации нагреваемых плит). На каждую плиту укладывают детали только одной толщины. Сомкнув плиты пресса до соприкосновения с деталями, прогревают детали в течение 10—15 мин, а затем повышают давление.

Время выдержки заготовок под давлением зависит от толщины загруженных деталей или заготовок:

Толщина, мм	Время выдержки под давлением при 125—140°С, ч
До 25	1
26 — 36	1,5
36 — 80	2
80 — 120	3

Соответствующую температуру и давление поддерживают в течение всего времени прессования. При таком режиме бакелитовая смола плавится, хорошо проникает в наружные слои картона и

обеспечивает склеивание отдельных заготовок в монолитную деталь. Процесс прессования следует вести постепенно, чтобы избежать выдавливания бакелитового лака при первой стадии прессования. Под воздействием температуры бакелит вначале переходит в промежуточную стадию В, а затем в окончательную необратимую стадию С, не растворимую в горячем трансформаторном масле. Для полимеризации бакелита необходимо определенное время, зависящее от толщины прессуемого изделия. По окончании процесса прессования обогрев прекращают, снимают давление, разводят плиты и выгружают детали.

Прессование и запекание применяется и при изготовлении коллекторных манжет из формовочного миканита.

По своей конструкции миканитовые манжеты бывают цельными или составленными из отдельных сегментов. Как цельные манжеты, так и отдельные сегменты состоят из нескольких слоев формовочного миканита марок ФМГ, ФМГА — для машин с изоляцией класса В; ФФК, ФФКА и ФМК — с изоляцией класса Н, склеенных связующим веществом и спрессованных при большом давлении и высокой температуре. Технологический процесс изготовления манжет состоит из операций заготовки сегментов формовочного миканита и прессовки сегментов в пресс-формах.

Заданную чертежом форму манжеты получают из заготовки миканита, имеющей форму сегмента и согнутой в пресс-форме под требуемыми радиусами.

Во избежание образования утолщений и складок на меньших диаметрах при перегибах сегментов на заготовках делают вырезы. В связи со значительными колебаниями толщины листов формовочного миканита при изготовлении манжет необходимое количество сегментов берут не по счету, а по массе.

По рассчитанным размерам сегмента изготовляют шаблон — выкройку, по которой размечают миканит для вырезки заготовок.

Миканитовые листы для вырезки заготовок складывают стопкой высотой до 20 мм. Вырезают сегменты заготовки с зубцами на ленточной пиле. Процесс вырезки сегментов пилой трудоемкий, поэтому при изготовлении большого количества конусов заготовки-сегменты вырубают штампом.

Прессовка манжет выполняется следующим образом. Взвешенные заготовки-сегменты раскладывают на две стопки с одинаковым количеством сегментов. В каждой стопке одну сторону заготовки смазывают тонким слоем щеллачного лака, и сегменты склеиваются между собой со двигом на $^1/_4$ ширины зубца с таким расчетом, чтобы при закладке их в пресс-форму перекрытие распределилось равномерно по всей длине окружности.

Перед прессовкой обе стопки заготовок миканита, прогретые до полного размягчения связующего вещества, закладывают в пресс-форму, нагретую в печи до температуры 190°С. На гидравлическом прессе пресс-форма с манжетой выдерживается под давлением до охлаждения ее до 40°С. При этом полной запечки связующего вещества не происходит и манжета сохраняет возможность формов-

ки в процессе подтяжки гайки при сборке деталей коллектора на втулку.

Перед выемкой манжеты из пресс-формы ее выступающие края обрезают.

Прессование и запекание применяются при изоляции металлической втулки контактных колец фазных роторов асинхронных машин.

Втулки контактных колец изолируют стекломиканитом (формовочным миканитом и стеклотканью) или бакелизированной бумагой. Перед изолировкой на рычажных или роликовых ножницах нарезают изоляционные материалы.

Заготовки миканита нарезают шириной, равной высоте втулки, и длиной, равной развернутой длине боковой поверхности втулки плюс припуск 15—20 мм на перекрытие стыка.

Ширина заготовок из стеклоткани и бакелизированной бумаги должна равняться высоте втулки плюс припуск на зачистку по 3—5 мм с каждой стороны. Длина заготовок колеблется в пределах от 1 до 2 м и зависит от ширины рулонного материала, из которого нарезают заготовки.

Перед наложением изоляции металлическую втулку обезжиривают. Стекломиканитовой изоляцией втулки изолируют в такой последовательности. Миканитовую заготовку кладут на плоскую плиту с электрообогревом для размягчения миканита, а боковую поверхность втулки смазывают бакелитовым лаком. Прокатывая втулку по заготовке, уложенной на плите, накатывают изоляцию на втулку. Далее на миканитовую изоляцию накладывают (обертывают втулку изоляцией) несколько слоев пропитанной лаком стеклоткани, промазывая ее через один-два оборота бакелитовым лаком. Для удобства изолировки втулку отверстием надевают на металлическую оправку, закрепленную в тисках.

Втулки изолируют бакелизированной бумагой так же, как и стеклотканью.

Изоляция втулок должна быть электрически прочной (выдерживать напряжение не менее 12 кВ), монолитной, без морщин и складок на поверхности и расслоений на торцах и хорошо держаться на втулке. Чтобы выполнить эти требования, наложенную на втулку изоляцию опрессовывают, а затем выпекают.

Опрессовку изоляции производят на гидравлическом прессе в пресс-форме, предварительно нагретой до температуры 160—180°C. Пресс-форма представляет собой шесть разрезных конических плашек, охватываемых кольцом, имеющих внутреннюю коническую поверхность (аналогичны конструкции колец и плашек для опрессовки коллекторов, но детали пресс-форм значительно тоньше, так как усилие опрессовки изоляции втулки намного меньше).

Выпекают изоляцию в электрических печах при температуре 160—180°C, куда пресс-форму с запрессованным изделием помещают и выдерживают из расчета 25—30 мин на 1 мм толщины стекломиканита и 15—20 мин на 1 мм толщины бумажно-бакелитовой изоляции. После выпечки охлажденное до температуры

не выше 60°С изделие извлекают из пресс-формы. Затем напильником и шлифовальной шкуркой зачищают изоляцию с торцев втулки.

Завершающая операция — контроль, т. е. проверка качества изоляции и ее электрической прочности. Доброкачественная манжета должна иметь ровную и гладкую поверхность, ее размеры — диаметр, толщина и высота — должны точно соответствовать заданным; при простукивании она должна издавать звук чистого тона. Глухой или дребезжащий звук является признаком того, что манжета плохо спрессована и плохо выпечена. Отклонения по толщине стенок допускаются не более ±0,1 мм. Толщину промеряют в 8—10 точках микрометром. Диаметр и форма манжеты всецело определяются размером и формой пресс-формы, поэтому, если пресс-форма проверена, то проверять наружный диаметр и форму конуса манжеты не обязательно. После осмотра и проверки размеров манжету испытывают на электрическую прочность в наиболее слабом месте (вершина конуса). Испытания проводят в 5—8 точках с помощью специальных электродов.

§ 34. Технология изолирования при восстановлении изоляции обмоточных проводов

Обмотки электрических машин и трансформаторов в подавляющем большинстве случаев изготовляют из медных обмоточных проводов, которые являются весьма дефицитным материалом. Поэтому при ремонте обмоток электрических машин зачастую возникает необходимость использовать вторично медные обмоточные провода поврежденных обмоток.

Для того чтобы повторно использовать провод поврежденной обмотки, ее разбирают, извлекая из пазов сердечника статора, фазного ротора или якоря коллекторной машины.

Разборка обмоток, размещенных в открытых пазах, состоит из выбивания пазовых клиньев, распайки соединений между катушками и подъема катушек из пазов. Если катушки туго сидят в пазах, их поднимают, забивая текстолитовые клинья сначала между верхними и нижними катушками, а затем между нижней катушкой и дном паза.

Разборка обмоток статоров, роторов и якорей с полуоткрытыми и полузакрытыми пазами затруднена тем, что катушки прочно склеены со стенками паза и между собой пропиточным лаком. Для облегчения размотки статора, ротора или якоря их нагревают до температуры 350°С, выжигая изоляцию. Можно также через обмотку пропускать электрический ток низкого напряжения (40—60 В), нагревая ее до выгорания изоляции и нарушения сцепления между витками. Другим способом является погружение статора, ротора или якоря на 8—12 ч в водный 3%-ный раствор кальцинированной соды, нагретый до 80—100°С. При этом лак разрушается и обмотка легко выходит из пазов.

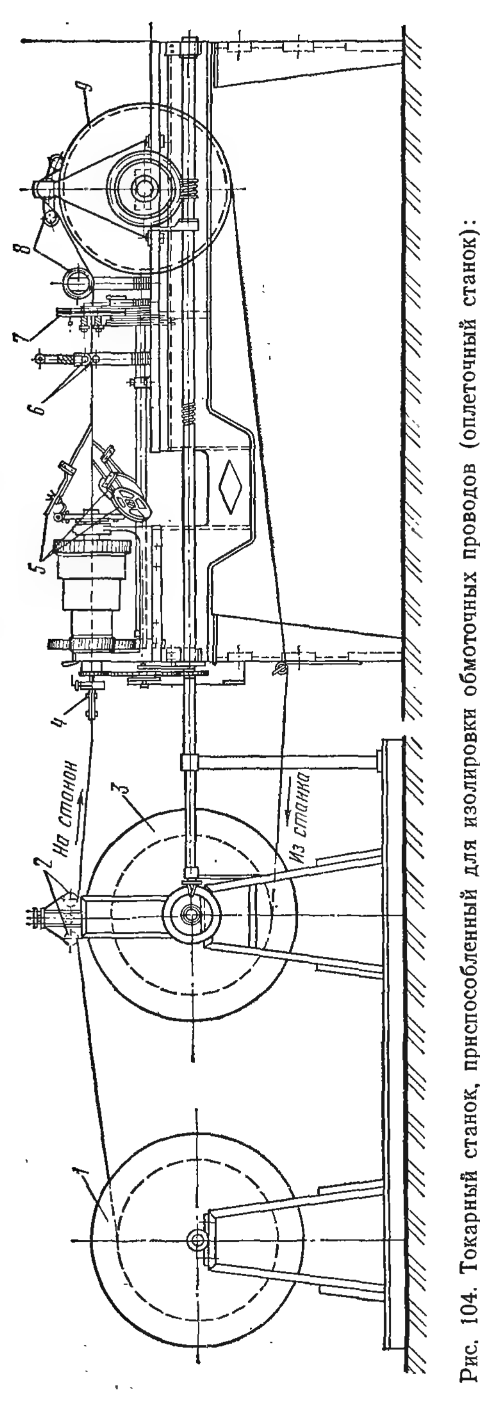


Рис. 104. Токарный станок, приспособленный для изолировки обмоточных проводов (оплеточный станок):
1, 3 и 9 — барабаны, *2* — рихтовочные ролики, *4* — рихтовочная матрица, *5* — диски, *6* — прессующие ролики, *7* — оплеточное приспособление, *8* — направляющие ролики

Обмотку, уложенную в электрическую машину со статором, ротором или якорем, имеющим закрытые пазы, демонтируют путем разматывания.

Чтобы удалить старую изоляцию, демонтированную обмотку чаще всего обжигают в печи при температуре 450—500°С. Температурный режим обжига следует строго контролировать, так как при более низкой температуре усложнится в дальнейшем удаление необожженной изоляции, а при недопустимом повышении температуры произойдет пережог провода, при котором изменится структура металла и резко ухудшатся его электрические и механические свойства.

Обожженную горячую обмотку промывают в воде с температурой 60—70°С, полностью очищая от истлевшей в печи изоляции. Далее провод рихтуют, протягивая между двумя сжатыми деревянными плашками, и изолируют на специальном изолировочном станке.

В ремонтной практике восстановление изоляции обмоточного провода поврежденных обмоток осуществляется преимущественно с помощью приспособлений, пристраиваемых к обычному токарному станку. Одно из таких конструктивно несложных приспособлений,

обеспечивающее изоляцию до 1500 м обмоточного провода в смену, показано на рис. 104.

Изолирование обмоточного провода в этом приспособлении осуществляется следующим образом.

Голый провод с барабана *1* подается через рихтовочное устройство (ролики *2* при круглом проводе или матрицу *4* при прямоугольном проводе), сквозной шпиндель станка, направляющие ролики *8* и ведущий барабан *9* на приемный фрикционный барабан *3*. При прохождении провода диски *5* с рулонами изоляционной бумаги, вращаясь вокруг провода, изолируют его, оплетая бумагой, ролики *6* опрессовывают оплетенный провод, а приспособление *7*, состоящее из вращающихся дисков и закрепленных на них катушек с хлопчатобумажными нитками, обматывает изолированный провод нитками, прочно закрепляя бумажную изоляцию на проводе.

В качестве изолирующих материалов обмоточных проводов трансформаторов зачастую применяют бумажную ленту, кабельную или телефонную бумагу толщиной 0,05—0,12 мм и шириной 15—25 мм, навиваемую на провод спирально с перекрытием на $^1/_3$ или $^1/_2$ (полуперекрытием) ширины ленты. Тонкую бумагу (0,05—0,07 мм) накладывают на провод в два или три слоя, причем нижний слой навивают встык, а верхний — с перекрытием на $^1/_2$ ширины ленты. Полосы изолирующей бумажной ленты склеивают друг с другом и на концах оплетенного провода бакелитовым лаком.

При необходимости получения изолированного провода большой длины, например при изготовлении непрерывной обмотки, отдельные куски обожженного провода предварительно сваривают встык, а затем участок соединения обрабатывают (опиливают), устраняя образовавшееся на стыке утолщение.

§ 35. Изоляция пазов и обмоткодержателей в электрических машинах

Пазы сердечников статоров, роторов и якорей имеют определенную шероховатость, способную повредить изоляцию укладываемой в них обмотки. Поэтому каждый паз сердечника тщательно изолируют, вкладывая в него изоляционную деталь, изготовленную из электрокартона или другого диэлектрического материала. Пазовая изоляция служит также дополнительной изоляцией обмотки от активной стали сердечника.

В качестве изоляции для пазов сердечников электрических машин чаще всего применяют пазовые коробочки из гибких изоляционных материалов. В этом случае пазовая изоляция представляет собой однослойную или многослойную коробочку-прокладку, прилегающую к стенкам и дну паза. Материал пазовой изоляции подбирают в зависимости от типа сердечника и класса нагревостойкости машины. Для класса А применяют электрокартон или лакоткань, а также сочетание этих материалов; для класса В — гибкий

миканит или стеклолакоткань. При полузакрытых пазах сердечника пазовая коробочка должна быть достаточно жесткой, чтобы она не сминалась проводами обмотки во время укладки их в пазы.

В статорных всыпных обмотках в течение многих лет применяется трехслойная пазовая коробочка, состоящая из двух полосок электрокартона и одной полоски лакоткани между ними.

Толщина пазовой изоляции может быть значительно снижена путем замены составной пазовой коробочки пленкоэлектрокартоном, представляющим собой полоску электрокартона толщиной 0,15 мм, оклеенную триацетатной пленкой толщиной 0,05 мм. Таким образом уменьшается число слоев изоляции, пленка путем приклеивания защищается от смятия проводниками и устраняются воздушные прослойки.

В современных асинхронных двигателях часто применяют более прочную пазовую изоляцию. Так, например, для двигателей в защищенном исполнении при классе изоляции E в качестве пазовой изоляции используется лавсан толщиной 0,05 мм в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,2 мм и стеклотканью ЛСЭ-1 толщиной 0,17 мм. Для двигателей в закрытом исполнении 2—5-го габаритов применяют изоляцию, состоящую из лавсана толщиной 0,05 мм в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,15 мм для 2—3-го габаритов и 0,2 для 4—5-го габаритов.

Анализ пробоев изоляции ремонтируемых электрических машин с изоляцией в виде пазовой коробочки показывает, что слабым местом обычно является выход коробочки из паза. Это объясняется тем, что при укладке обмотки происходит разрыв коробочки или прорезание ее углом зубца. Поэтому выступающие концы пазовых гильз должны быть защищены. В качестве мер защиты применяют: опиливание острых углов зубцов перед укладкой обмотки; поддержку выступов пазовых гильз изоляцией обмоткодержателей, которая должна доходить до дна паза; укрепление выступающих концов гильз путем отворотов.

В мелких электроремонтных цехах операции резки изоляционных материалов, изготовления пазовой изоляции и закладки ее в пазы осуществляются вручную или с выполнением отдельных операций примитивными средствами механизации, преимущественно собственного изготовления.

На крупных электроремонтных предприятиях изолировку пазов сердечника производят с помощью полуавтоматических станков. Технологическая и принципиальная схемы одного из таких станков показаны на рис. 105.

Чтобы изолировать пазы сердечника статора, устанавливают его на станке и заправляют ролик электрокартона, предварительно нарезанный на роликовых ножницах. Все остальные операции станок выполняет по автоматическому циклу и выдает сердечник с изолированными пазами готовый к укладке в нем обмотки.

Станок предназначен для изолировки двухслойной изоляцией пазов статоров асинхронных электродвигателей единой серии А2

и АО2 2-го и 3-го габаритов. Для изолировки статоров других размеров полуавтомат снабжен сменными головками.

Работает станок следующим образом.

Ленты изоляционного материала *2* (рис. 105, *а*), сматываемые с рулонов *1*, отбортовываются с двух сторон *3*, разрезаются на заготовки *4*, из которых формируются коробочки *5*. Коробочки затем поочередно вкладываются в пазы статора.

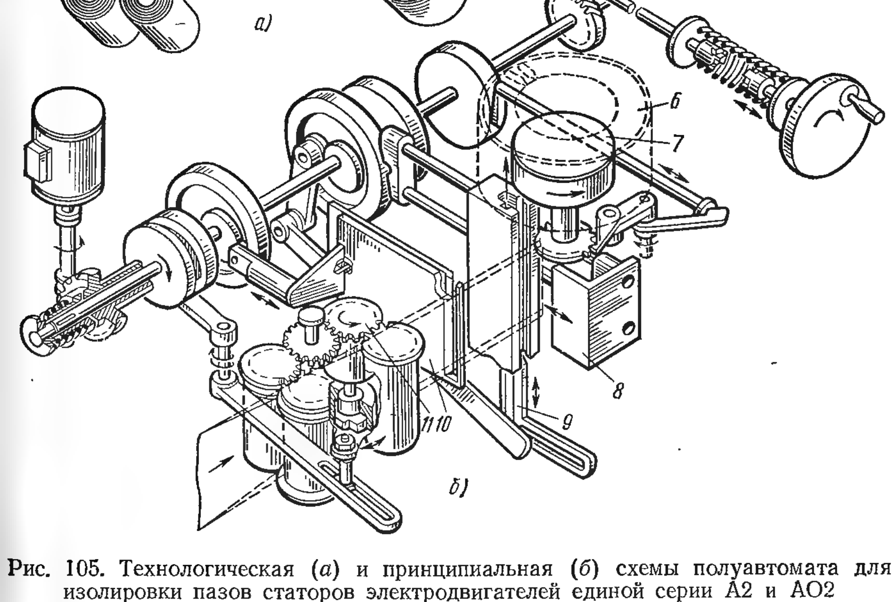


Рис. 105. Технологическая (*а*) и принципиальная (*б*) схемы полуавтомата для изолировки пазов статоров электродвигателей единой серии А2 и АО2

Изоляционный материал подается в станок двумя парами валков *11* (рис. 105, *б*): первая — в процессе подачи отгибает под углом 90° манжеты с обеих сторон ленты, вторая — прижимает их к ленте. Проходя далее между ножами *10* механизма отрезки, лента останавливается напротив штампа (движение ленты прерывистое). После отрезки ленты ножом *10* пуансон *8* вталкивает заготовку в канал матрицы, придавая ей форму коробочки, которая при обратном ходе пуансона досылателем *9* подается из матрицы в паз сердечника статора *6*, сидящего на головке *7*.

Головка периодически поворачивается на одно пазовое деление, устанавливая каждый раз паз статора против канала матрицы.

Другие автоматы и полуавтоматы для изолировки пазов роторов и якорей принципиально мало чем отличаются от полуавтомата, схема которого показана на рис. 105.

При ремонте электрических машин изолируют и обмоткодержатели, имеющие различные конструкции. Обмоткодержатель пред-

ставляет собой фасонную сварную или литую шайбу. Шайбами зажимаются листы стали сердечника ротора и якоря, а на имеющийся на шайбе кольцевой выступ опирается лобовая часть обмотки. Этот выступ изолируют обычно электрокартоном, а при необходимости получения влагостойкой и теплостойкой изоляции — миканитом. Обычно изолируют обмоткодержатель следующим образом.

Окрашивают поверхность обмоткодержателя теплостойким и влагостойким лаком, а затем на нее по всей окружности накладывают полосу хлопчатобумажной ткани шириной несколько большей, чем тройная ширина обмоткодержателя. Ее накладывают так, чтобы с обеих сторон обмоткодержателя свисала полоса ткани одинаковой ширины. Полосу эту укрепляют шпагатом, который затягивают посередине в выточке обмоткодержателя. Часть ткани, лежащую на ободе, промазывают лаком.

Поверх шпагата и ткани накладывают заранее заготовленные полосы картона или гибкого миканита шириной более ширины обмоткодержателя приблизительно на 10—15 мм. Первый наложенный ряд картона или миканита промазывают лаком, на него накладывают вторую полосу картона или миканита и т. д. Общая высота всей наложенной изоляции (картона или миканита) рассчитывается так, чтобы после укладки всех секций в пазы якоря и наложения бандажа диаметр лобовой части якоря не выходил за пределы диаметра стали якоря. Для этого необходимо произвести предварительный подсчет общей высоты, состоящей из толщины изоляции обмоткодержателя, высоты лобовой части обмотки, толщины изоляции под бандаж и толщины всех слоев проволоки бандажа.

Наложенную изоляцию промазывают сверху и с боков лаком, после чего ткань, предварительно подрезанную по ширине в 6—8 местах, с обеих сторон загибают на изоляцию и тщательно выравнивают, чтобы на ней по всей окружности не было пузырей и крупных морщин.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к раскрою изоляционных материалов?
2. На каком оборудовании производится резка изоляционных материалов?
3. В чем преимущества изготовления изоляционных деталей штамповкой?
4. Как производится прессовка миканитовых манжет коллекторов?

ГЛАВА VIII
ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ИЗОЛЯЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 36. Общие сведения о ремонте обмоток и изоляции

Обмотки и внутренняя изоляция трансформаторов являются наиболее уязвимыми и часто повреждающимися их частями. При

длительной работе трансформатора (особенно в режиме частых перегрузок) электрическая прочность изоляции его обмотки и изоляции деталей резко снижается, что при определенных условиях (увлажнение масла и др.) нередко приводит к их повреждению и необходимости ремонта.

Многолетняя работа трансформатора приводит не только к старению изоляции, но, как следствие этого, и к снижению механической прочности обмоток, что очень часто бывает причиной аварийного выхода из строя обмотки.

Практика эксплуатации трансформаторов, у которых ремонт обмоток произведен путем частичной перемотки (восстановления поврежденной части проводов или изоляции), показывает, что работа такого трансформатора бывает, как правило, весьма непродолжительной. Вот почему на большинстве электроремонтных предприятий ремонт обмоток и изоляционных деталей сводится к изготовлению новых обмоток и новых изоляционных деталей.

Изготовление обмоток требует применения большого количества приспособлений, оборудования и инструментов, которые можно условно разбить на следующие три группы: приспособления для изготовления и обработки изоляционных деталей, оборудование и приспособления для намотки обмоток, устройства для обработки и перемещения обмоток.

По степени специализации приспособления, оборудование и инструменты подразделяются на универсальные, предназначенные для изготовления обмоток различных размеров и типов, и специализированные, предназначенные для изготовления обмоток только какого-либо определенного типа или размера. На электроремонтных заводах для ремонта трансформаторов применяются преимущественно универсальные, реже — специализированные приспособления, оборудование и инструменты.

§ 37. Изготовление изоляционных деталей трансформаторов

Большинство изоляционных деталей, применяемых в маслонаполненных трансформаторах, изготовляют из электроизоляционного картона марок А, Б, В, Г электрической прочностью 40—55 кВ.

Для изоляции обмоточных проводов применяют кабельную бумагу марок К-080, К-120 и К-170; КВ-030, КВ-045, КВ-080, КВ-120, КВ-170 и КВ-240. Кабельная бумага марки К применяется в трансформаторах напряжением до 35 кВ, а КВ — выше 35 кВ. Цифры после букв показывают толщину бумаги в микрометрах.

Количество и марки электроизоляционных материалов, а также необходимые инструменты и приспособления для изготовления изоляционных деталей определяются в зависимости от конструкции, размеров и класса напряжения обмотки.

Процесс изготовления многих изоляционных деталей состоит из разметки, раскроя, резки, штамповки и склеивания картона.

Разметку выполняют с применением шаблонов и чертежных инструментов с таким расчетом, чтобы наибольшие размеры детали

совпадали с длиной листа картона, а количество получаемых из листа деталей было максимальным.

Для разметки нередко пользуются хорошо сохранившимися старыми изоляционными деталями, снятыми с ремонтируемой обмотки. При этом учитывают, что вновь изготавливаемые детали в

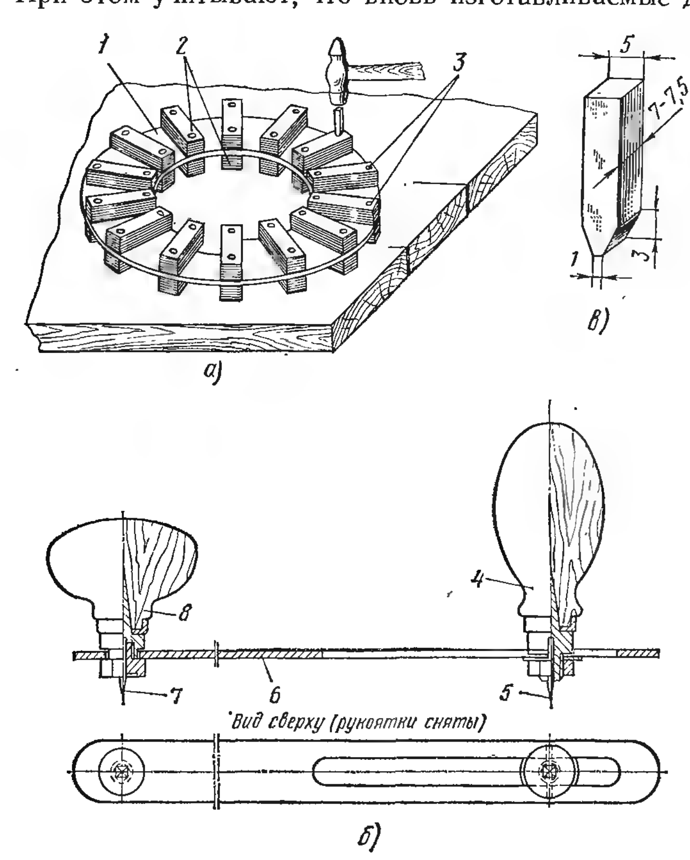


Рис. 106. Сборка ярмовой изоляции обмотки трансформатора (*а*), ручной шайборез (*б*) и картонная заклепка (*в*):

1 — шайба, *2* — прокладки из нескольких слоев склеенного электрокартона, *3* — деревянные заклепки, *4* — рукоятка ножа, *5* — нож, *6* — стальная пластина, *7* — игла, *8* — рукоятка иглы

процессе обработки (сушки, запекания) уменьшаются (дают усадку).

Раскрой изоляционных деталей производят из сухого стабилизированного электрокартона. Для сушки листы электрокартона укладывают пачками в 40—50 листов, переложив пачки сухими деревянными планками размером 30×50 мм, и выдерживают в течение 25—30 дней в сухом отапливаемом помещении при температуре 25°С.

Раскрой электроизоляционного картона и изготовление изоляционных деталей производят с помощью ручного шайбореза, вибрационных или гильотинных ножниц, а также других видов станков и приспособлений (см. § 31).

Деревянные детали изоляции изготовляют с помощью циркулярной или ленточной пилы. Детали изоляции из электрокартона и дерева скрепляют клеем и заклепками из электрокартона.

Сборка ярмовой изоляции обмотки трансформаторов II и III габаритов показана на рис. 106, *а*.

Шайбу *1* (рис. 106, *а*) можно вырезать из листов электрокартона толщиной 2—4 мм с помощью шайбореза (рис. 106, *б*), состоящего из рукоятки *4* с ножом *5*, установленных в прорези стальной пластины *6*, и иглы *7* с рукояткой *8*.

По данным произведенных замеров очерчивают циркулем на картоне внутренний и наружный диаметры шайбы. Установив иглу *7* шайбореза в центре окружности, а нож *5* на линии большей окружности, вращением рукоятки *4* с ножом *5* вырезают картон сначала по наружной, а затем по внутренней окружности шайбы. Пластины вырезают с учетом направления расположения волокон — вдоль или поперек волокон. Необходимость соблюдения этого требования вызвана, как отмечалось выше, различной степенью усадки пластин электрокартона, вырезанных вдоль и поперек волокон, что может вызвать их коробление и расслаивание как в процессе сушки, так и после него.

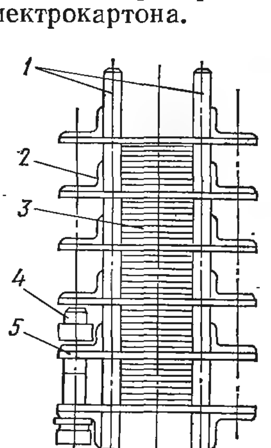


Рис. 107. Приспособление для прессовки прокладок и реек из электрокартона:
1 — стальные стержни, *2* — угольник, *3* — прессуемые детали, *4* — болт с гайкой, *5* — прижимная стальная планка

Отдельные пластины заготовок ярмовой изоляции покрывают тонким слоем бакелитового лака, просушивают методом воздушной сушки, затем набирают до требуемой толщины и бандажируют тафтяной лентой. Прокладки набирают из заготовленных прямоугольных листов электрокартона, склеивают клеем из водорастворимой метилцеллюлозы, а затем прессуют в приспособлении, показанном на рис. 107.

Далее на шайбе размечают мелом места установки подкладок и сверлят отверстия под заклепки в подкладках и шайбе за один прием. Одну из подкладок сверлят на всю толщину, вторую — не более чем на 0,25 ее толщины.

После этого шайбу вместе с комплектом подкладок укладывают на стол отверстиями кверху, промазывают одну сторону подкладок, сопрягаемых с шайбой, бакелитовым лаком, укладывают их на шайбу и вбивают заклепки, также предварительно смазанные бакелитовым лаком. Заклепки (см. рис. 106, *в*) изготовляют из листов электрокартона, склеенных метилцеллюлозным лаком.

Прокладки крепят к шайбе двумя или тремя заклепками в зависимости от длины подкладки.

Приспособление, показанное на рис. 107, применяется также для прессовки реек и других деталей из картона, склеенного клеем из метилцеллюлозы.

Детали уравнительной изоляции из электрокартона изготовляют аналогично описанному способу.

Детали главной изоляции силовых трансформаторов, изготовляемые из электроизоляционного картона, показаны на рис. 108.

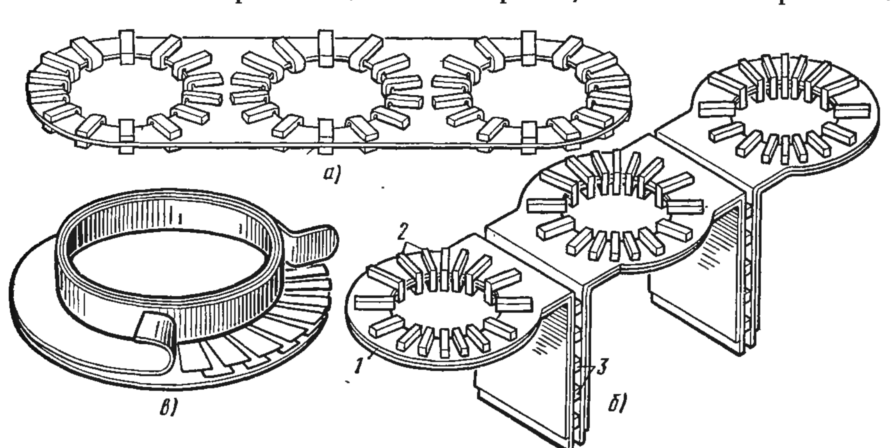


Рис. 108. Детали главной изоляции из электроизоляционного картона:
а — плоский барьер с П-образнымн прокладкамн, *б* — междуфазная перегородка, *в* — «мягкая» угловая шайба; *1* — шайба, *2* — П-образные прокладки, *3* — прессованные дистанционные прокладки

Электроремонтные заводы, специализирующиеся на ремонте трансформаторов различных типоразмеров и мощностей, располагают комплексом оборудования, необходимого для изготовления всех изоляционных деталей, встречающихся в трансформаторах как старых, так и современных конструкций, в том числе оборудованием для изготовления и обработки бумажно-бакелитовых цилиндров и трубок.

Бумажно-бакелитовые цилиндры и трубки изготовляют из бакелизированной бумаги. Цилиндры и трубки наматывают на специальном станке (рис. 109).

Перед началом работы включают нагревательное устройство станка и прогревают намоточный вал до температуры, определяемой в зависимости от применяемого лака, толщины стенки и диаметра изготовляемого изделия: температура нагрева в пределах 50—100°С.

Намотку производят следующим образом. Устанавливают рулон бакелизированной бумаги *1* на вал и конец бумаги заправляют в намоточный станок таким образом, чтобы с валиком *2* соприкаса-

лась сторона бумаги, свободная от лака, а лакированная сторона была обращена к оправке *3*. При огибании изоляционным материалом обогреваемых валов *6* смола на их поверхности расплавляется и склеивает наматываемые слои материала.

Вследствие значительного натяжения материала и температурного воздействия на него получается плотная слоистая изоляция.

В процессе намотки и после ее окончания толщину изоляционных деталей контролируют, замеряя штангенциркулем, шаблоном, с помощью счетчика оборотов или толщиномером, установленным на станке.

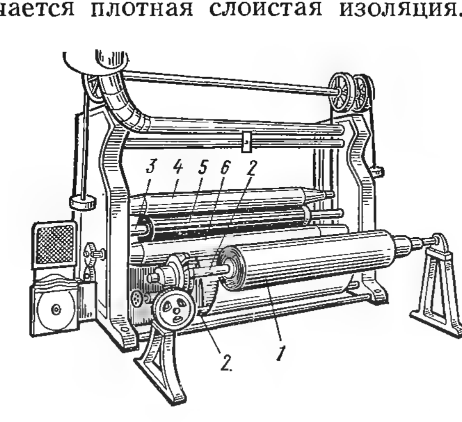


Рис. 109. Станок для изготовления изоляционных цилиндров:

1 — рулон бакелизированной бумаги, *2* — направляющий и натяжной валикн, *3* — оправка, *4* — нажимной валик, *5* — наматываемая изоляция, *6* — вал с электрообогревом

Для улучшения диэлектрических и механических свойств изоляцию подвергают термической обработке. Намотанные цилиндры и трубки в начале процесса термообработки подвергаются сушке, при которой происходит испарение растворителей и влаги, находящихся в изоляции. Затем уже происходит полимеризация смолы, являющейся основой лака, склеивающего слои изоляционной бумаги. При этом смола, а вместе с ней и волокнистые материалы отвердевают и приобретают соответствующие свойства.

Цилиндры и трубки после намотки проходят вместе с оправками термообработку. Ее производят чаще всего в печах с паровым или электрическим обогревом или на высокочастотной установке. Цилиндры и трубки устанавливают в вертикальном положении или укладывают в горзонтальном положении таким образом, чтобы они не касались друг друга и между ними была воздушная прослойка не менее 10 мм.

Температура сушильной печи при загрузке в нее изделий не должна превышать 60—80°С. При указанной температуре изделия выдерживают в течение часа, после чего постепенно поднимают температуру до 120—160°С. Время термообработки зависит от толщины стенок изделий и температуры печи и составляет в среднем от 8 до 10 ч. По окончании термообработки отключают нагрев и изделия выгружают из печи.

Готовые изделия снимают с оправок так, чтобы не повредить их, а затем подвергают отделке, при которой обрезают торцы, снимают заусенцы, зачищают острые кромки и лакируют: трубки, предназначенные для изолировки отводов, и цилиндры для обмоток трансформаторов напряжением до 35 кВ лакируют один раз, выше 35 кВ — два раза путем погружения их в ванну с лаком и после-

дующей сушки на воздухе и в печи при первоначальной температуре 60—70°С, доводимой затем до 100—120°С.

Технология изготовления всех видов изоляционных деталей трансформаторов несложна: их изготовляют путем выполнения практически одних и тех же операций (разрезание, вырезание, покрытие лаком, соединение, скрепление, намотка, термообработка, зачистка, лакировка и сушка).

§ 38. Намотка цилиндрических обмоток

Простые и двухслойные цилиндрические обмотки обычно применяют в качестве обмоток НН на напряжения до 660 В в трансформаторах мощностью до 1000 кВ·А.

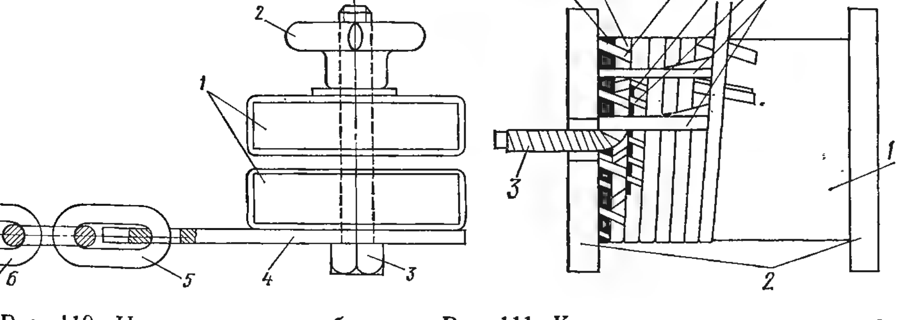


Рис. 110. Натяжное приспособление:
1 — деревянные плашки, *2* — фасонная гайка (звездочка), *3* — болт, *4* — стальная пластина, *5* — соединительное кольцо, *6* — цепь

Рис. 111. Крепление выводного конца и изоляции в обмотке:
1 — шаблон, *2* — гетинаксовые диски, *3* — изолированный выводной конец, *4* — бумажно-бакелитовое кольцо, *5* — обмоточный провод, *6* — крепление бумажно-бакелитового кольца, *7* — электрокартонная коробка, *8* — крепление электрокартонной коробки, *9* — петли киперной ленты

Простая цилиндрическая однослойная обмотка (см. рис. 10, *а*) наматывается в один слой из одного или нескольких параллельных проводов прямоугольного сечения.

Двухслойная цилиндрическая обмотка (см. рис. 10, *б*) состоит из витков прямоугольного провода, намотанных в два слоя с переходом из слоя в слой обычно в нижней части обмотки. Между слоями прокладывают изоляцию из бумаги или тонкого электрокартона или равномерно по окружности устанавливают несколько реек, образующих вертикальный охлаждающий канал. Для выравнивания торцевой части обмотки применяют разрезные клинообразные кольца, устанавливаемые по торцам каждого слоя.

Намотка цилиндрической обмотки из провода прямоугольного сечения осуществляется следующим образом.

На шпиндель намоточного станка устанавливают и закрепляют между двумя гетинаксовыми дисками разъемный деревянный шаб-

лон, разрезанный на две части от одного торца к другому под некоторым углом к оси. Шаблон обертывают одним слоем электрокартона толщиной 0,3 мм, закрепляют его хлопчатобумажной лентой и натирают парафином. Намотку цилиндрической слоевой обмотки производят с применением натяжного приспособления (рис. 110), состоящего из двух отполированных деревянных плашек *1*, между которыми зажимают провод (провода). Приспособление с помощью цепи *6* прикрепляют к тормозной стойке.

Для формирования выводного конца обмоточный провод выгибают под прямым углом гибочным приспособлением. Выводной конец обмотки изолируют в соответствии с чертежом, укладывают в вырез гетинаксового диска (со стороны планшайбы) и прикрепляют его к шпинделю станка специальным прижимом или хлопчатобумажной лентой.

Для выравнивания винтовой поверхности крайнего витка на шаблон надевают разрезное уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо и закрепляют его петлями из киперной ленты (в виде восьмерки) в процессе намотки первого витка первого слоя (см. поз. *6* на рис. 111). Одновременно подкладывают в двух-трех местах по окружности ленточные петли из киперной ленты *9* для крепления выводного конца обмотки. В процессе намотки второго витка устанавливают электрокартонную коробку *7* (против изгиба начального вывода) и закрепляют ее тафтяной лентой *8*. Продолжают намотку следующих витков обмотки, укладывают витки плотно друг к другу в осевом направлении. Число витков обмотки отмечается счетчиком. После намотки 5—6 витков первого слоя уложенные витки подбивают деревянным или фибровым клином и закрепляют их киперной лентой *9*. Снимают с шаблона крепление электрокартона и продолжают намотку первого слоя, подбивая витки в процессе намотки.

Не доходя одного витка до конца намотки первого слоя, укладывают уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо, доматывают последний виток первого слоя и одновременно закрепляют уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо, как было описано выше.

При переходе к намотке второго слоя обмотки равномерно по окружности укладывают дистанционные рейки, чередуя их с технологическими буковыми планками, предварительно натертыми парафином. Рейки и планки временно закрепляют киперной лентой.

Технологические планки устанавливают для придания второму слою правильной цилиндрической формы и они должны быть тоньше постоянных на 0,5 мм для облегчения удаления после намотки обмотки. Одновременно с намоткой первого витка второго слоя укладывают и закрепляют уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо. В процессе намотки витки второго слоя также подбивают деревянным или фибровым клином (рис. 112). Перед укладкой последнего витка устанавливают уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо и закрепляют его бандажом при намотке последнего витка.

По окончании намотки отрезают провод специальными ручными ножницами, оставляя конец заданной длины. Концевой вывод изгибают под углом 90°, изолируют его в соответствии с чертежом и укладывают в вырез гетинаксового диска шаблона. Выводной конец обмотки надежно закрепляют бандажом из киперной ленты в 6—8 оборотов вполуперекрышку и, сделав переход, бандажируют верхний слой обмотки вполуперекрышку по всей длине. Затем обмотку снимают со станка, выбивают из нее шаблон, связывают по длине равномерно по окружности четырьмя стяжками из киперной ленты и отправляют на дальнейшую технологическую обработку.

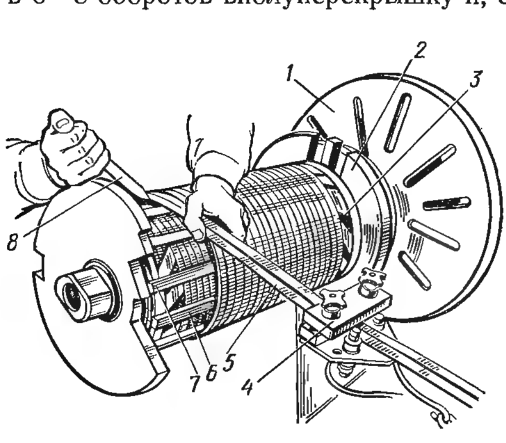


Рис. 112. Намотка цилиндрической обмотки НН:

1 — планшайба станка, *2* — гетинаксовый диск шаблона, *3* — крепление бумажно-бакелитового кольца, *4* — натяжное приспособление, *5* — обмоточный провод, *6* — гетинаксовая рейка, *7* — технологическая планка, *8* — фибровый клин

Многослойная цилиндрическая обмотка (см. рис. 10, *в*) наматывается послойно, как правило, из провода круглого сечения. Слой обмотки составляют витки, наматываемые по винтовой линии. Намотку первого слоя обычно производят на бумажно-бакелитовом цилиндре. Между последующими слоями укладывают несколько слоев кабельной бумаги. Чтобы увеличить поверхность охлаждения, между некоторыми слоями обмотки устанавливают буковые планки или рейки из клееного картона, образующие осевой канал.

Для защиты от механических повреждений под крайние витки каждого слоя укладывают так называемый «бортик», представляющий собой узкую полосу электрокартона толщиной 2 мм, приклеенную к более широкой ленте кабельной бумаги. В процессе намотки каждого слоя обмотки бумажная лента бортика зажимается крайними витками, а полоса картона служит в качестве опоры обмотки и детали, дополнительно изолирующей и защищающей ее крайние витки от механических повреждений.

Перед началом намотки многослойной цилиндрической обмотки из круглого провода на специальной стойке (рис. 113) заправляют концы провода в натяжной ролик *4*. Изменяя с помощью тормозного устройства *5* силу торможения роликов, регулируют натяжение провода, обеспечивая плотность намотки витков обмотки на шаблоне. Намотку начинают с изгиба и изолирования конца обмотки, который затем закрепляют на шаблоне. Способ установки и закрепления опорной концевой изоляции каждого слоя обмотки — «бортика» — показан на рис. 114, *а*.

Намотку обмотки производят на одном из намоточных станков, показанных на рис. 91, *а* и 92.

В зависимости от направления намотки (слева или справа) на установленный бумажно-бакелитовый цилиндр укладывают «бортик» и наматывают первый виток обмотки так, чтобы виток прижимал кабельную бумагу, и упирался в электрокартонную по-

Рис. 113. Стойка для намотки круглого обмоточного провода:
1 — рама стойки, *2* — сферические втулки, *3* — наматываемая изоляцня, *4* — ролнк с канавками, *5* — тормозное устройство

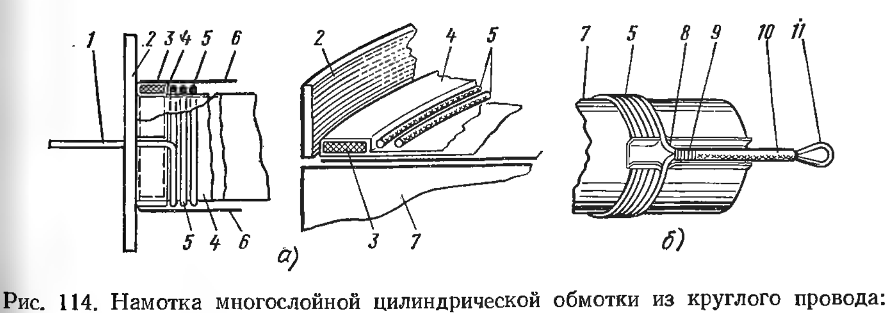


Рис. 114. Намотка многослойной цилиндрической обмотки из круглого провода:
а — закреплеине опорной концевой изоляции, *б* — отвод петлей и его изолирование; *1* — отвод, *2* — упорная шайба, *3* — концевая изоляция («бортик» из электрокартона), *4* — кабельная бумага, *5* — витки обмотки, *6* — межслоевая изоляция, *7* — шаблон, *8* — электрокартонная коробочка, *9* — бандаж петли, *10* — трубка из лакоткани, *11* — конец петли

лоску. Следующие витки укладывают плотно один к другому, при этом бумажная лента зажимается крайними витками обмотки, а «бортик» надежно изолирует торец обмотки.

За пять-шесть витков до конца первого слоя устанавливают бортик вплотную к опорной шайбе шаблона и производят намотку витков обмотки так, чтобы последний виток первого слоя упирался в электрокартонную полоску. Место перехода во второй слой изолируют телефонной или кабельной бумагой.

В некоторых конструкциях обмоток полоса электрокартона приклеивается бакелитовым лаком к цилиндру обмотки (а в последующих слоях — к межслоевой изоляции) в процессе намотки. Иногда (при большом сечении провода) с обоих концов обмотки в каждом слое устанавливают бумажно-бакелитовые кольца, а в процессе намотки прикрепляют их к виткам петлями из киперной ленты.

Межслоевая изоляция, как показано на рис. 114, *а*, укладывается по всей высоте обмотки, включая высоту бортиков, причем начало первого слоя изоляции, обычно выполняемой из кабельной бумаги в два-три оборота, закладывается под второй-третий виток, считая до конца слоя, и эти витки наматывают вместе с межслоевой изоляцией так, что первый виток обмотки следующего слоя выходит из-под последнего оборота кабельной бумаги. Далее аналогично предыдущему укладывают концевую изоляцию (бортик), наматывают второй слой и т. д.

Для образования осевого охлаждающего канала равномерно по окружности укладывают дистанционные рейки из дерева или электрокартона. Чтобы сохранить круглую цилиндрическую форму обмотки, кроме постоянных реек устанавливают временные, удаляемые после намотки, технологические рейки, чередуя их с постоянными. Рейки закрепляют киперной лентой, накладывают концевую изоляцию и наматывают первые витки очередного слоя обмотки. Сняв ленту, закрепляющую рейки, продолжают намотку.

Отводы для регулирования напряжения обычно изготовляют путем припайки к проводу полоски ленточной меди сечением, равным сечению провода. При небольшом диаметре провода отвод осуществляется петлей из самого обмоточного провода, как показано на рис. 114, *б*. Изолирование отвода производится лакотканью с прокладыванием с обеих его сторон полосок (или коробочек) из электрокартона. На готовую обмотку накладывают бандаж из тафтяной ленты или кабельной бумаги, и обмотка поступает в сушку (и пропитку).

§ 39. Намотка непрерывной обмотки

Непрерывная обмотка (см. рис. 10, *г*) состоит из ряда катушек с вертикальными и горизонтальными каналами между ними для лучшего отвода теплоты от обмотки. Каналы между катушками образуют с помощью реек (вертикальные каналы) и реек с закрепленными на них прокладками (горизонтальные каналы).

У обмотки может быть несколько параллельных проводов в витке. Применение параллельных проводов вместо одного провода большого сечения снижает потери от вихревых токов в обмотках и облегчает намотку катушек, так как вместо одного массивного провода применяется несколько более тонких. Если обмотка выполнена из двух и более параллельных проводов, то для выравнивания их длины и сопротивления, а также положения каждого из

них в магнитном поле рассеяния при переходе из катушки в катушку провода меняют местами (транспонируют). Транспозицию параллельных проводов выполняют в процессе намотки на каждом переходе из катушки в катушку.

Намотку непрерывной обмотки из одного провода выполняют следующим образом.

Проделав подготовительные работы, закрепляют концы провода требуемой длины (за деревянную планку), ослабляют натяжение провода и, запустив станок, приступают к изготовлению в несколько приемов первой перекладной катушки. Вначале наматывают без натяжения витки временной катушки (рис. 115, *а, б*) и выполняют переход в следующую катушку (рис. 115, *в*). Затем вручную про-

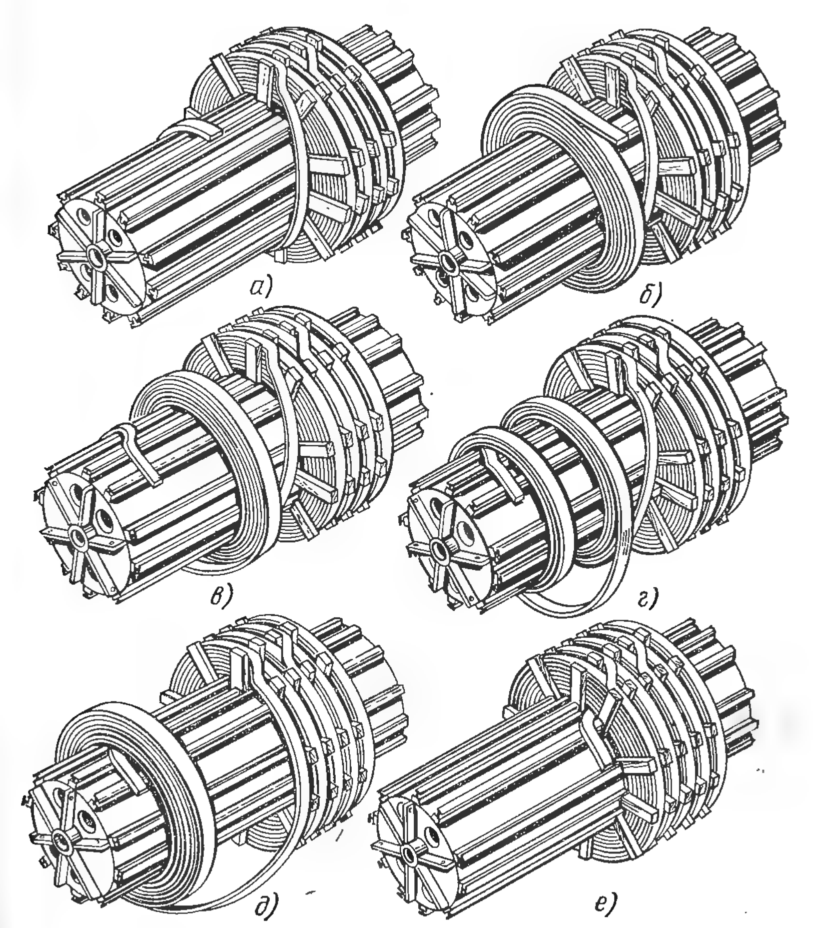


Рис. 115. Намотка перекладной катушки (виток из одного провода):
а — выполнение наружного перехода постоянной катушки и намотка первого витка перекладной катушки, *б* — намотка витков временной катушки, *в* — выполнение перехода перекладной катушки, *г* — перекладка витков временной катушки, *д* — закончена перекладка витков, *е* — перекладная катушки с внутренним переходом для намотки постоянной катушки

изводят перекладку витков временно намотанной катушки (рис. 115, *г, д*), передвигают всю катушку на прежнее место и затягивают витки до заданного радиального размера (рис. 115, *е*). Перекладку витков временно намотанной катушки производят по одному витку в последовательности, обратной намотке: вначале снимают верхний виток и укладывают его на электрокартонные рейки, затем снимают следующий виток и укладывают на первый и т. д. Когда последний (нижний) виток будет уложен на верх получившейся после перекладки катушки, на нее устанавливают четыре—восемь (в зависимости от диаметра обмотки) П-образных деревянных зажимов для предохранения витков от рассыпания при затяжке. Катушку с переложенными витками передвигают на ее постоянное место вплотную к дистанционным прокладкам и производят затяжку. В процессе затяжки уплотняют витки катушки легкими ударами деревянного молотка в осевом и радиальном направлениях, а затем закрепляют конец обмотки бандажом из тафтяной ленты. Передвигают по рейкам дистанционные прокладки (образующие канал между первой и второй катушками) и производят намотку второй, постоянной катушки с необходимым натяжением провода и уплотнением витков катушки. По окончании намотки катушки на нее устанавливают П-образный деревянный зажим (рис. 116, *а*) или П-образную струбцину-фиксатор (рис. 116,-*б*), отмечают переход в следующую (третью перекладную) катушку, выполняют переход и продолжают намотку.

Переходы должны быть выполнены особенно тщательно, так как являются одним из наиболее опасных участков обмотки в отношении пробоя изоляции. Все переходы выгибают гибочным приспособлением (рис. 117, *а*) таким образом, чтобы они не выступали в соседний канал, а центр изгиба располагался в середине промежутков между прокладками по центру поля. Переходы дополнительно изолируются, как показано на рис. 117, *б, в*. Внутренний переход изолируется всегда прокладкой (или коробочкой), накладываемой на провод сверху, а наружный — снизу.

Третью катушку выполняют так же, как первую. Вначале передвигают требуемое число дистанционных прокладок вплотную ко второй катушке, укладывая один виток на другой; после укладки последнего витка выполняют внутренний переход в четвертую (постоянную) катушку и производят перекладку и затяжку витков, как описано выше. После установки прокладок между третьей и четвертой катушками производят намотку четвертой, постоянной, выполняют наружный переход из четвертой в пятую катушку и продолжают намотку последующих катушек, повторяя технологические приемы намотки перекладных и постоянных катушек.

В нашем примере все нечетные катушки наматывают с перекладкой витков и выполнением внутренних переходов, а все четные — постоянными, с наружными переходами. Если требуется выводные концы обмотки расположить внутри, намотку нечетных катушек производят постоянными, а четных — перекладными. При целом числе витков в каждой катушке начало и конец обмотки, а

также все переходы будут расположены в одном поле между первой и последней рейками.

В тех случаях, когда витки непрерывной обмотки состоят не из одного, а из нескольких параллельных проводов, процесс намотки ведется так же, как и в случае одного провода, за исключением устройства переходов из одной катушки в другую. В предыдущем случае, когда рассматривалась обмотка из одного провода, мы имели только один переход из катушки в катушку. В случае обмотки, выполняемой из нескольких параллельных проводов, количество переходов между катушками будет соответствовать числу параллельных проводов обмотки. Особенность устройства переходов в обмотке с несколькими параллельными проводами заключается в том, что во время перехода производится перемена проводов местами: верхний провод становится нижним, второй

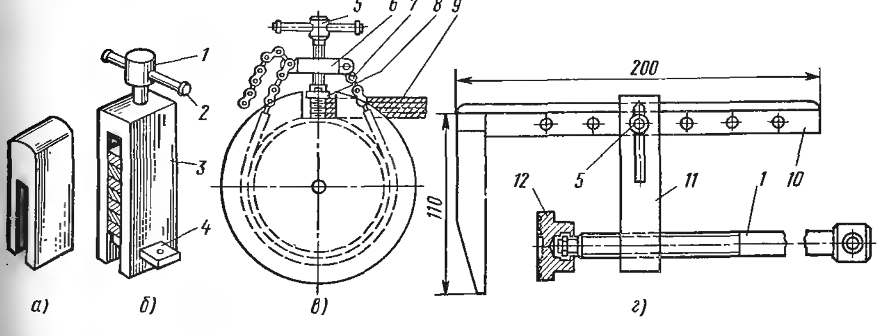


Рис. 116. Приспособления для закрепления витков, катушек и концов обмотки:
а — П-образный деревянный зажим для катушек непрерывной и витков винтовой обмотки, б — П-образная струбцина-фиксатор для зажима витков катушки непрерывной обмотки, в — цепной зажим для крепления конца обмотки, г — струбцина для закрепления концов обмотки НН; 1 — нажимной винт, 2 — рукоятка, 3 — корпус, 4 — щеколда, 5 — винт, 6 — коромысло с резьбовым отверстием, 7 — пластинчатая цепь, 8 — прижимная пластина, 9 — конец витка из проводов, 10 — основание, 11 — гайка, 12 — пята

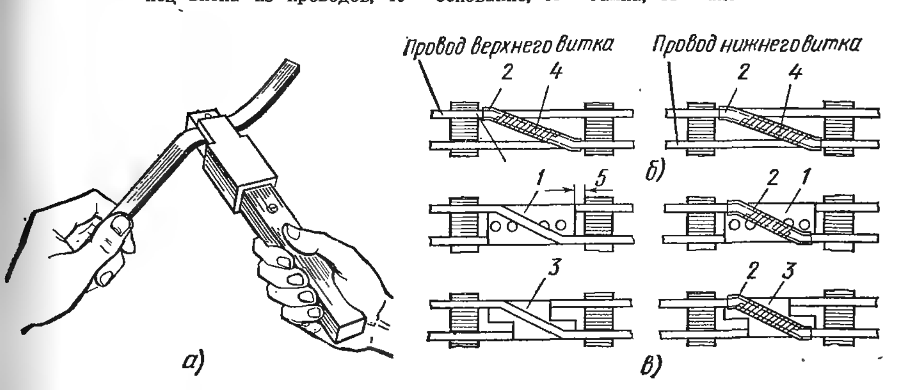


Рис. 117. Выполнение переходов:
а — изгиб провода для перехода, б — изолирование наружных и внутренних переходов формованными коробочками, в — изолирование наружных и внутренних переходов изолирующими прокладками; 1 — прокладка простая, 2 — коробочка формованная, 3 — прокладка фасонная, 4 — бандаж из ленты

провод сверху делается вторым снизу и т. д. В качестве примера возьмем обмотку из двух параллельных проводов, изображенную на рис. 118, *а*. В первой катушке провод *б* находился наверху, а провод *а* — внизу. После перехода во вторую катушку провода поменялись местами: верхним стал провод *а*, а нижним — провод *б*.

Рис. 118. Переходы между катушками непрерывной обмотки с транспозицией параллельных проводов:

а — виток состоит из двух проводов, *б* — виток состоит из четырех проводов.

При переходе из второй в третью катушку провода снова меняются местами: провод *б* становится верхним, а провод *а* — нижним и т. д. Аналогичная картина получается при большем количестве параллельных проводов. Возьмем для примера обмотку из четырех проводов (рис. 118, *б*). Провод *а*, находившийся в первой катушке наверху, во второй катушке стал нижним, провод *б* в первой катушке был вторым сверху, а во второй катушке он стал третьим сверху, провод *в* в первой катушке был третьим сверху, а во второй он стал вторым сверху и, наконец, провод *г* в первой катушке был нижним, а во второй он стал верхним. Указанное изменение расположения проводов (транспонирование) делается для того, чтобы все параллельные провода имели одинаковую длину и были примерно в одинаковом положении по отношению к магнитному полю рассеяния.

§ 40. Намотка одноходовой винтовой обмотки

Винтовая обмотка состоит из ряда витков, наматываемых по винтовой линии, с масляными каналами между ними.

В зависимости от числа параллельных проводов и витков винтовая обмотка может выполняться одноходовой (см. рис. 10, *д*) или многоходовой, т.е. состоящей из двух и более отдельных винтовых обмоток, вмотанных одна в другую в процессе намотки.

Вертикальный канал вдоль внутренней поверхности винтовой обмотки и каналы между ее витками образуются такими же рейками и прокладками, как и у непрерывной обмотки.

Намотка винтовой обмотки может быть правой или левой.

Технологический процесс намотки одноходовой винтовой обмотки с групповыми и общей транспозициями (рис. 119, *а, б*) одинаков для всех типов силовых трансформаторов. Намотку обмотки начинают с того, что заводят все провода в натяжное устройство. Далее на установленном комплекте реек сдвигают дистанционные

прокладки в левую или правую сторону (в зависимости от направления намотки), закрепляют концы обмотки на шаблоне и начинают намотку обмотки. За каждый оборот станка наматывают один многопараллельный виток. Станок при этом работает с небольшой частотой вращения — 8—16 об/мин. Намотку витков обмотки чередуют с установкой прокладок. Для создания опорной поверхности обмотки между винтовой поверхностью крайнего витка и опорным кольцом на каждой рейке устанавливают разное количество прокладок. Для устойчивости прокладок их скрепляют прессованными из электрокартона сегментами с клиновыми выступами — для закрепления за рейки.

Выполнив первый виток, придвигают к нему прокладки, образующие канал между первым и вторым витками, затем наматывают второй виток с шагом, равным толщине провода плюс канал между витками. После второго витка накладывают симметрично по окружности 3—4 общих бандажа из киперной ленты на оба витка и продолжают изготовление обмотки дальше, разделяя витки прокладками. Производят намотку $^1/_4$ витков до начала первой транспозиции.

Наметив центр первой групповой транспозиции, закрепляют зажимом последний намотанный виток обмотки и разделяют все провода на две группы: с одинаковым числом — при четном количестве проводов в витке, разным — при нечетном (в одной из групп на один провод больше). Эти группы (рис. 119, *б*) меняются местами после перекладки их в двух полях, смежных с центром транспозиции. В одном поле выполняются переходы проводов одной группы, а через поле — другой. Каждый провод верхней группы выгибают в отдельности с помощью приспособления, показанного на рис. 117, *а*, а затем складывают стопкой все провода, бандажируют тафтяной лентой вполуперекрышку и укладывают рядом с витками. Для предотвращения замыкания смежных проводов первой и второй групп до и после выполнения транспозиции закладывают между группами полосу электрокартона и дополнительно на изогнутые части витка устанавливают отбортованные прокладки из электрокартона.

Плавный переход проводов осуществляется с помощью клиньев из электрокартона, подкладываемых под провода в месте перехода 2_1 и 2_2 (см. рис. 119, *б*). Клинья выравнивают радиальный размер витков в зоне транспозиции, и на них располагаются обе группы транспонируемых проводов. После выполнения транспозиции обе группы проводов поменялись местами: верхняя группа стала нижней, а нижняя — верхней. В зоне транспозиции произошло как бы раздвоение витка, а потом слияние, за счет чего увеличился канал. Поэтому при выполнении транспозиции внимательно следят за правильным выполнением канала.

Продолжают намотку витков до половины обмотки и выполняют общую транспозицию. Начало и конец обмотки должны быть симметричными относительно ее середины (см. рис. 119, *а*). Для выполнения общей транспозиции в поле, указанном в развертке об-

мотки, намечают переход на первом (верхнем) проводе, закрепляют виток зажимом и из полос электрокартона изготовляют два клина. Высота клина должна быть меньше радиального размера витка на один провод, а длина его определяется длиной части окружности, занимаемой переходами всех проводов витка.

Выгнув верхний провод в виде перехода, его изолируют и укладывают рядом с витком на утолщенную часть первого клина. Второй клин своей тонкой частью подкладывают под оставшиеся провода витка. Таким образом, в первом поле параллельные провода витка раздвоились на две группы (рис. 119, *а*). В следующем поле выгибают и изолируют переход, затем укладывают второй провод на первый. В каждом поле изгибают последовательно проводники витка в виде переходов и укладывают их рядом на уже переложенные ранее проводники. После выполнения общей транспозиции каждый провод в витке поменял свое местоположение.

Продолжая намотку, делают еще $^3/_4$ витков обмотки до начала

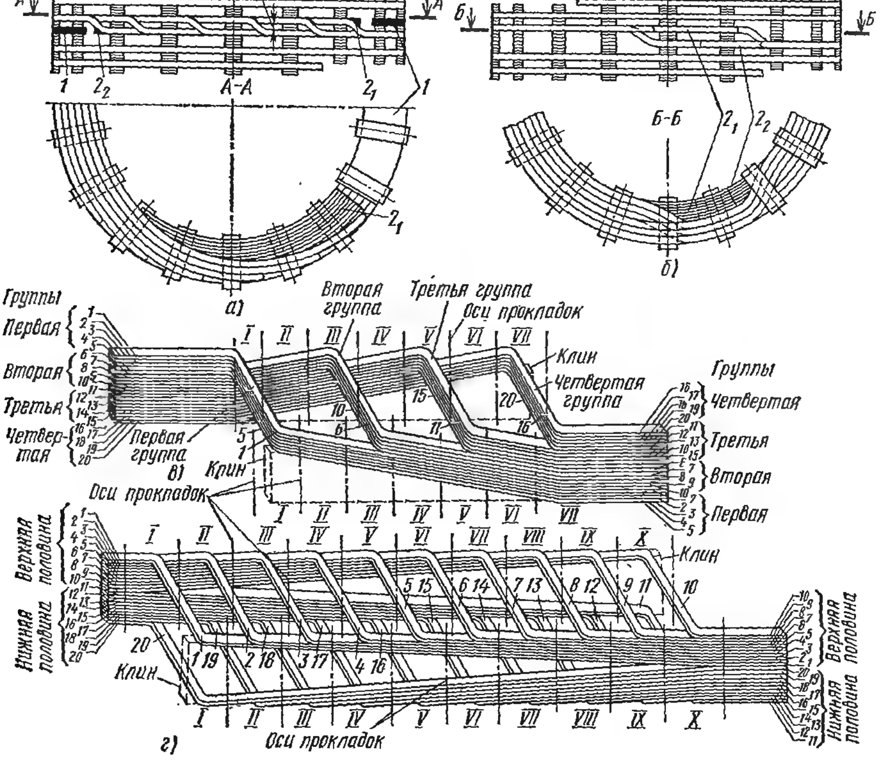


Рис. 119. Конструктивное выполнение транспозиций в одноходовой винтовой обмотке:

а — групповая, *б* — общая, *в* и *г* — транспозиция Бюда (групповая и общая); *1* — прессованные сегменты из электрокартона с клиновыми выступами для закрепления за рейки, 2_1, 2_2 — клинья, собранные из полос электрокартона (бандажи, коробочки не показаны)

второй групповой транспозиции, которую выполняют аналогично первой, т. е. две группы проводников снова меняют свое местоположение.

После выполнения всех трех транспозиций проводники будут расположены в обратном порядке по сравнению с их начальным положением. В процессе намотки последнего витка обмотки винтовую поверхность выравнивают разным количеством прокладок на каждой рейке.

Комплектование начального вывода обмотки, расположение проводов (1—6) во время намотки и выполнение транспозиций показаны на рис. 120.

Изготовив обмотку, снимают приспособление для установки реек, закрепляют последний виток струбциной, обрезают концы провода и комплектуют конечный вывод обмотки. Выгнув провода под прямым углом (каждый в отдельности), их располагают так, чтобы обеспечить возможность вывода концов через специальные отверстия или углубления в опорном кольце катушки. Чтобы отдельные проводники не замыкались, каждый провод в месте изгиба изолируют крепированной бумагой. Конец обмотки изолируют лакотканью или полосами крепированной бумаги и закрепляют между двумя рейками.

Если одноходовая обмотка выполняется с транспозициями Бюда (см. рис. 119, *в, г*), то раскладку проводов перед намоткой обмотки и транспозиции выполняют по-иному. Намотку обмотки производят так, как описано ранее, чередуя намотку витков с установкой дистанционных прокладок. При выполнении групповой транспозиции закрепляют зажимом последний намотанный виток, все параллельные провода витка делят на четыре группы и каждую группу меняют местами согласно схеме на рис. 119, *в*. Перекладку каждой группы проводов производят через поле, поэтому вся групповая транспозиция занимает семь полей. В первом поле изгибают в виде перехода провода первой группы и укладывают их рядом с витком. Таким образом, виток как бы разделяется на два с разными радиальными размерами. Для выравнивания радиального размера катушки под первую (в новом витке) и четвертую группы (в оставшемся витке) подкладывают и бандажируют клинья (рис. 119, *в*) из полос электрокартона, так, чтобы к седьмому полю после начала транспозиции четвертая группа была поднята до уровня верхней группы, а первая группа была опущена до уровня нижней группы. В третьем поле изгибают проводники второй группы и кладут на ранее уложенную группу проводов. Проводники третьей группы изгибают в четвертом поле и укладывают на вторую группу проводников; в шестом поле изгибают последнюю (бывшую нижнюю) четвертую группу проводов и укладывают ее на верх третьей группы.

Из рис. 119, *в* видно, что при групповой транспозиции четыре группы проводов поменялись местами: серединой транспозиции является поле, находящееся на $^1/_4$ высоты обмотки, относительно которого симметрично расположены переходы первой, второй,

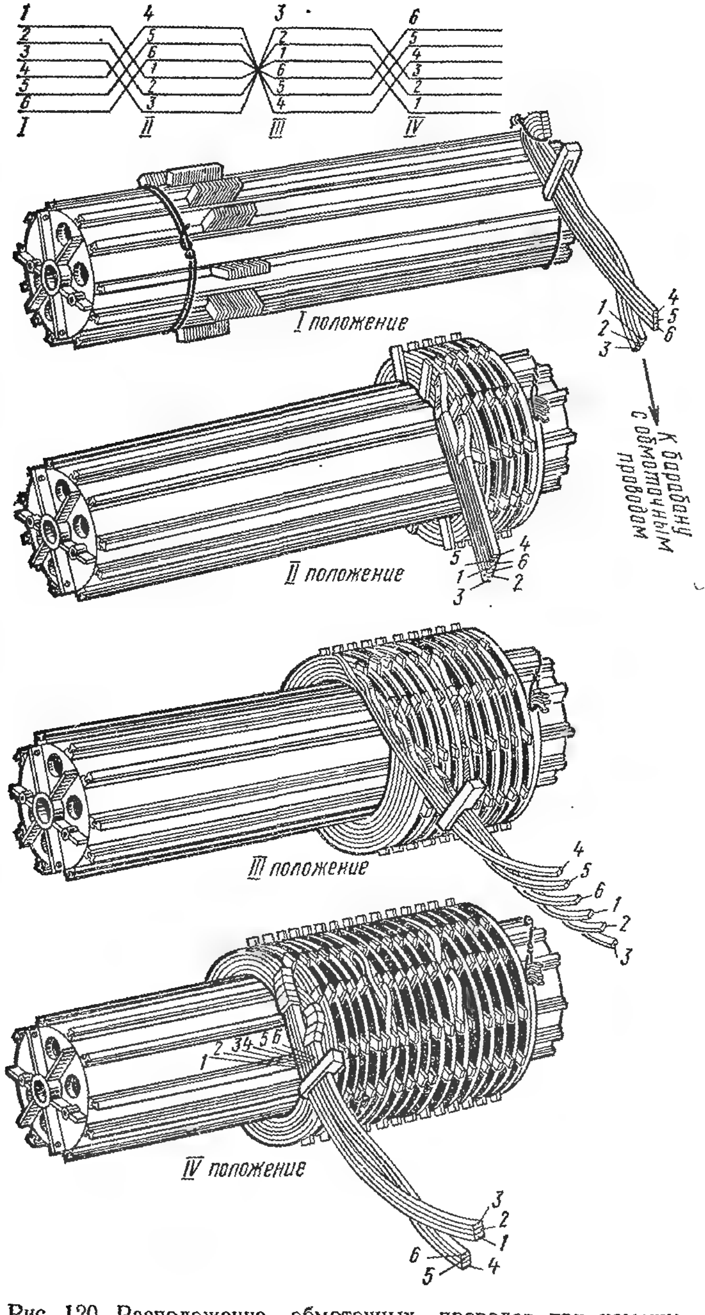


Рис. 120. Расположение обмоточных проводов при намотке одноходовой винтовой обмотки с групповой и общей транспозицией:

I — первоначальная укладка и закручивание обмоточных проводов (начало намотки), *II* — после групповой транспозиции, *III* — после общей транспозиции, *IV* — после второй групповой транспозиции

третьей и четвертой групп. Места переходов всех групп изолируют; под средние перекладываемые группы подкладывают полосы толщиной 2 мм и шириной, равной сумме двух осевых размеров провода и каналов между ними, длиной на 10 мм меньше длины поля; под первую и последнюю перекладываемые группы (на неизгибаемую часть витка) устанавливают полосу и отбортованные прокладки из электрокартона толщиной 1 мм, длиной на 10 мм меньше длины поля, высотой 10 мм и бандажируют киперной лентой вполуперекрышку. Намотку витков обмотки продолжают до начала общей транспозиции.

Для выполнения общей транспозиции все провода витка делят на две группы, а затем провода каждой группы меняют местами относительно середины своей группы, т. е. провода верхней группы меняют местами относительно середины этой группы, а провода нижней группы — относительно середины своей группы. В результате крайние провода занимают после транспозиции места средних проводов, а средние — крайних (в своих группах), как показано на рис. 119, *г*. В каждом поле изгибают два проводника (по одному из каждой группы). Транспозиция занимает число полей, равное половине числа параллельных проводов витка плюс одно поле, находящееся в середине транспозиции. Начинают выполнение общей транспозиции с изгиба переходов на первом верхнем *(1)* и последнем нижнем (*20*) проводе. Между изогнутыми проводами *1* и *20* (рис. 119, *г*) укладывают клин из электрокартона так, чтобы к концу транспозиции эти провода находились рядом — в середине переложенного витка обмотки. Второй такой же клин вставляют между проводами (нижним проводом *10* верхней половины и верхним проводом нижней половины) перекладываемого витка обмотки. Второй и предпоследний провода изгибают во втором поле и укладывают соответственно на первый и под последний провод и т. д. Так изгибают и перекладывают все провода до конца транспозиции. В рассматриваемом примере при общем числе параллельных проводов *20* транспозиция занимает 11 полей.

Намотку витков обмотки продолжают до второй групповой транспозиции. Для предотвращения перехлестывания проводов между собой при выполнении групповой транспозиции переходы изгибают в сторону уже намотанной части обмотки. Поэтому при выполнении последнего витка канал плавно увеличивают перед транспозицией до величины, равной сумме ширины провода и двух каналов. После окончания транспозиции ширину канала плавно уменьшают до размера канала, следующего за транспозицией. Суммарное число прокладок в увеличивающемся и уменьшающемся каналах сохраняют постоянным. После выполнения транспозиций продолжают намотку витков до конца обмотки согласно чертежу.

Заключительной операцией, выполняемой на обмоточном станке, является прошивка обмотки наружными рейками, после чего выравнивают столбцы дистанционных прокладок и проверяют разме-

ры обмотки, а также убеждаются в отсутствии дефектов в изоляционных и конструктивных деталях обмотки.

В двухходовой винтовой обмотке часто применяют равномерно распределенную транспозицию (транспозиция Хобарта). При этом число перестановок проводов в обмотке обычно равно числу параллельных проводов.

В винтовых обмотках трансформаторов и автотрансформаторов большой мощности в последние годы широко применяются специальные транспонированные провода. По сравнению с обычными обмоточными проводами они значительно упрощают работу по намотке винтовых обмоток, так как не нужно выполнять транспозицию проводов, что обычно сильно усложняет и замедляет процесс намотки.

При относительно большом числе витков обмотки из обмоточного провода небольшой высоты иногда применяют винтовую обмотку, у которой каждая пара смежных витков разделена шайбами или прокладками толщиной 0,5—1 мм, а остальные каналы выполнены набором прокладок толщиной 2—4 мм. Такую обмотку называют полувинтовой.

§ 41. Отводы обмоток

Отводы служат для электрического соединения обмоток с вводами, переключателями и другими токопроводящими частями трансформатора.

В качестве проводников для отводов служат голые (неизолированные) и изолированные медные и алюминиевые круглые провода и прямоугольные шины.

Круглые медные и алюминиевые провода без изоляции используются в качестве отводов в трансформаторах небольших мощностей напряжением до 1000 В. Отводы из круглых медных и алюминиевых проводов с бумажной изоляцией применяются в трансформаторах при напряжении 6, 10 и 35 кВ.

Медные и алюминиевые круглые провода с бумажной изоляцией применяют при диаметре отвода до 5,2 мм; при большем диаметре отвод выполняют без изоляции или же с изоляцией в виде бумажно-бакелитовой трубки, надетой на провод по всей его длине.

Применение отводов, выполненных изолированным проводом, позволяет значительно сократить изоляционные расстояния между отводами, а также между отводами и другими частями трансформатора.

Отводы обмоток НН трансформаторов мощностью выше 1000 кВ·А, а также обмоток ВН более мощных трансформаторов (6300 кВ·А и выше) выполняют медными, реже алюминиевыми шинами. Прямоугольные медные и алюминиевые шины целесообразно применять при расчетном сечении отводов 400 мм² и выше.

Прямоугольные шины по сравнению с круглыми проводами имеют ряд преимуществ: поверхность охлаждения шин больше, чем у

равного им по сечению круглого провода; шины более удобны для присоединения к ним концов обмоток и компенсаторов.

Отводы обмоток, поступающих для ремонта трансформаторов, как правило, оказываются неповрежденными или с частично поврежденной изоляцией.

Отгорание и тем более полное уничтожение отводов — явление довольно редкое. Отводы с поврежденной изоляцией ремонтируют

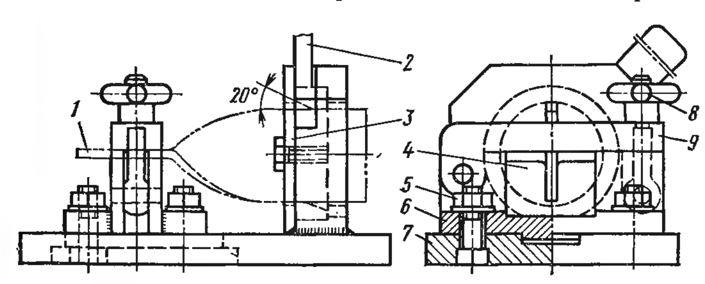


Рис. 121. Приспособление для скручивания на 90° заготовок из медной шины:
1 — медная шина, *2* — вороток, *3* — фланец, *4* — плашки, *5* — болт, *6* — обойма, *7* — корпус приспособления, *8* — фасонная гайка, *9* — стальная планка

путем ее восстановления. Для этого очищают провод (шину) от старой изоляции, а затем покрывают его новой изоляцией, равноценной по качеству, количеству слоев и способу наложения заводской изоляции.

При необходимости изготовления и установки новых отводов выполняют следующие основные операции: заготовку, пайку (сварку), установку и крепление отводов.

Заготовку нового отвода выполняют по образцу неповрежденных отводов (или по чертежам) с применением материалов, из которых был изготовлен поврежденный отвод, а также с соблюдением его размеров и конструкции.

Заготовку отвода рихтуют, проверяют ее размеры и размечают участки изгиба. При сечении отвода 35 мм² и выше рекомендуется места изгиба предварительно прогревать пламенем паяльной лампы или газовой горелки, что позволит избежать появления мелких трещин на внешней стороне изгиба.

Заготовку из круглого провода сечением до 120 мм² изгибают в тисках, медные и алюминиевые шины — на специальных гибочных станках.

При необходимости скручивания шины на 90° эту операцию выполняют с помощью простого приспособления (рис. 121), снабженного комплектом плашек и воротков для шин размером от $4{,}4\times25$ до 5×60 мм.

Плашки *4* вставляют в обойму 6, а затем откидывают планку *9* и вкладывают один конец шины *1* в горизонтально расположенную щель воротка *2*; другой конец шины свободно кладут на планку. Планку в рабочем положении крепят фасонной гайкой *8*. Поворотом ручки воротка *2* на себя до упора шину скручивают на 90°.

Заготовку отводов из алюминиевых шин выполняют аналогично заготовке из медных шин.

Присоединение отвода к проводу обмотки выполняют пайкой или сваркой.

Пайку производят оловянно-свинцовым (мягким) или фосфористо-медным (твердым) припоем.

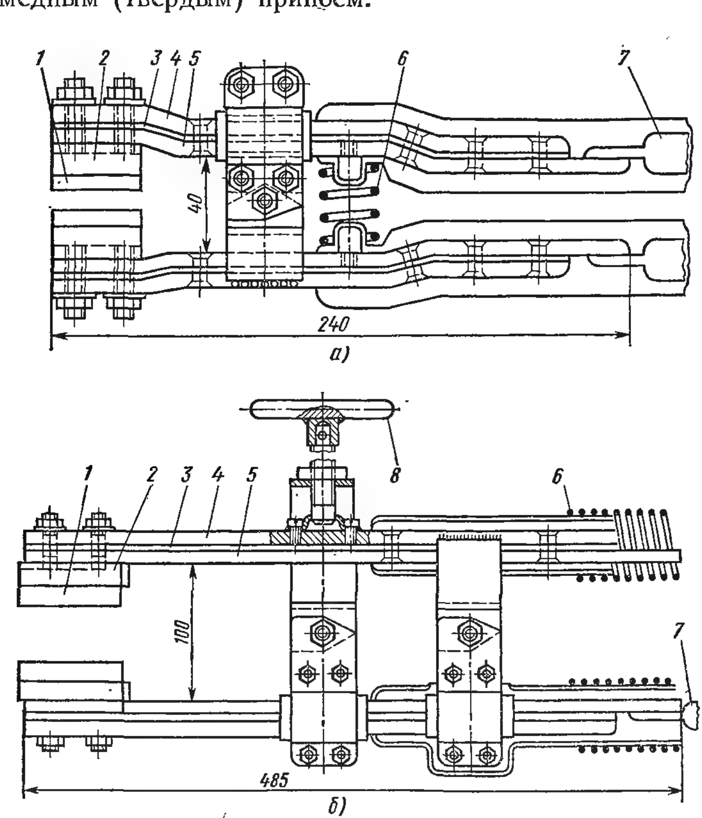


Рис. 122. Щипцы для электропайки:

а — малые, *б* — большие; *1* — прессованный уголь ЭГ, *2* — угледержатель, *3* — асбестовая прокладка, *4* — стальная полоска, *5* — медная полоска, *6* — пружина, *7* — кабель, *8* — винтовой прижим

Пайку мягким припоем производят электрическим паяльником с применением флюса, для чего соединяемые поверхности предварительно тщательно очищают от грязи, жира и пленок оксидов.

Пайку твердым припоем выполняют с помощью переносных электрических паяльных щипцов (рис. 122).

Малыми щипцами (рис. 122, *а*) соединяют пайкой круглые медные провода диаметром до 6 мм, а большими щипцами (рис. 122, *б*) — медные шины размером 6×40 мм и выше.

Электропитание щипцов осуществляется от специального трансформатора ОС или ОСУ.

Одним из наиболее технологичных и широко применяемых при ремонте и изготовлении обмоток способов соединения алюминиевых и медных проводов круглого и прямоугольного сечений является холодная сварка. Этот способ сварки применяют и при соедине-

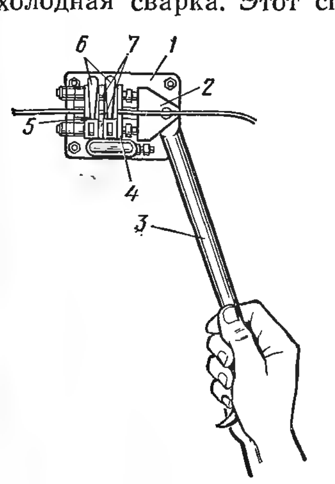


Рис. 123. Настольный сварочный станок СНС-3:

1 — установочная плита, *2* — корпус станка, *3* — рычаг осадки, *4* — подвижный зажим, *5* — неподвижный зажим, *6* — рукоятка зажима провода, *7* — направляющие штоки

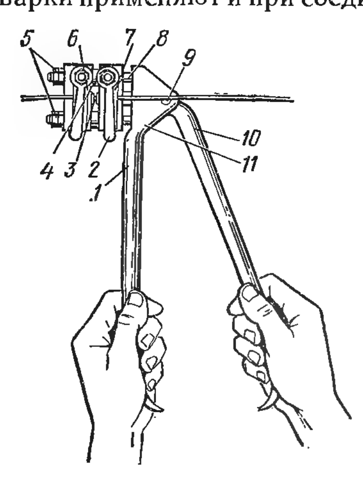


Рис. 124. Ручные сварочные клещи КС-6:

1 — левая неподвижная ручка, *2* — ручка зажима, *3* — зажимная разъемная плашка, *4* — возвратная пружина, *5* — регулирующие гайки, *6* — неподвижный зажим, *7* — подвижный зажим, *8* — шток, *9* — ось поворотной ручки, *10* — правая поворотная ручка, *11* — корпус клещей

нии отводов с проводами обмоток алюминиевых с алюминиевыми, алюминиевых с медными, медных с медными.

Сварка основана на возникновении межатомных сил сцепления между двумя кусками металла при сближении их с большим усилием друг к другу.

Методом холодной сварки производят соединение металлов встык и внахлест. Холодную сварку алюминиевых и медных проводов сечением до 10 мм² выполняют с помощью настольных сварочных станков (рис. 123) или клещей (рис. 124), а больших сечений (до 150 мм²) — в машине МСХС-35 с гидравлическим приводом зажима материала и осадки.

Линейные отводы трансформаторов продевают в бумажно-бакелитовые трубки и закрепляют в буковых планках. В местах закрепления отводы дополнительно изолируют несколькими слоями электрокартона толщиной 0,5 мм.

§ 42. Стяжка и прессовка обмоток

Стяжка и прессовка обмоток трансформатора позволяют получить требуемые геометрические размеры, способствуют повышению механической прочности обмоток, облегчают их монтаж при ремонте трансформатора.

В соответствии с массой, диаметром и высотой стягиваемой обмотки подбирают прессующие плиты и стягивающие шпильки. Наружные диаметры прессующих плит должны быть больше наружного диаметра обмотки на 80—100 мм, внутренний диаметр нижней плиты должен быть меньше, а верхней — больше диаметра бумажнобакелитового цилиндра на 10—20 мм.

В отверстия нижней плиты равномерно по окружности устанавливают стяжные шпильки с закрепленными на них гайками. Нижнюю плиту укладывают на горизонтальную площадку — рабочее место для стяжки обмоток. При стяжке обмоток трансформаторов III габарита под нижнюю плиту подкладывают три деревянные планки толщиной 45—50 мм, равномерно расположенные по окружности плиты. На плиту равномерно по окружности укладывают деревянные планки *5* (рис. 125) одинакового размера, количество которых соответствует количеству реек, расположенных по периметру обмотки. Длина планок равняется радиальному размеру обмотки плюс 80—100 мм. В отдельных случаях планки могут быть установлены против трех-четырех столбов дистанционных прокладок со смещением на угол для фиксирования положения бумажно-бакелитового цилиндра *3*. Для прессовки обмоток с концевой изоляцией (опорными кольцами) могут быть установлены деревянные планки *4*, перекрывающие две рейки.

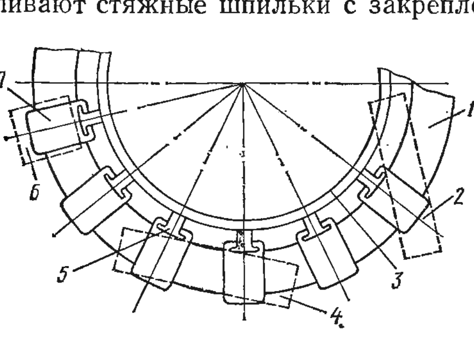


Рис. 125. Расположение деталей при подготовке к стяжке и прессовке обмоток:

1 — обмотка, *2*, *4* и *5* — деревянные планки, *3* — бумажно-бакелитовый цилиндр, *6* — электрокартонная рейка, *7* — дистанцирующая прокладка

Концы опорных реек в нижней части обмоток обрезают вровень с цилиндром и устанавливают обмотку таким образом, чтобы деревянные планки были под столбом дистанционных прокладок и выступали с двух сторон на 40—50 мм.

На верхний торец опорного кольца против каждой дистанционной рейки устанавливают деревянные планки шириной, равной радиальному размеру обмотки, и толщиной 30—45 мм. Высоту планок выбирают такой, чтобы прессующая плита после окончания прессовки обмотки не упиралась в верхний торец цилиндра или в концы обмоток или реек (последние обрезают при сборке трансформатора), но не менее 100 мм.

На деревянные планки устанавливают верхнюю стальную прессующую плиту и пропускают через отверстия в верхней плите стяжные шпильки, на которые надевают дистанционные втулки. Устанавливают гайки и производят предварительную стяжку обмотки для отделки.

Стяжку цилиндрических слоевых обмоток производят в вертикальном положении крестовинами (рис. 126, *а*).

В соответствии с диаметром и высотой стягиваемой обмотки подбирают крестовины *2*, *4* и шпильку *6*. Длина крестовины должна быть примерно на 30—50 мм больше наружного диаметра стягиваемой обмотки *1*, длина шпилек должна соответствовать суммарной высоте обмотки, крестовин, дистанционной втулки, гаек и подъемного кольца. Резьба на шпильке после стяжки обмотки должна выступать сверху минимум на 30 мм.

В отверстие нижней крестовины устанавливают стяжную шпильку *6* с шайбой и рым-гайкой *7*, крестовину укладывают на подготовленное рабочее место и устанавливают обмотку. Укладывают верхнюю крестовину, стяжную шпильку предварительно пропускают через отверстие в крестовине, устанавливают дистанционную втулку *5* и навертывают гайку. Проверяют положение обмотки в крестовинах (на отсутствие смещения) и гайку завертывают.

В отдельных типах обмоток осевой размер бумажно-бакелитового цилиндра больше осевого размера обмоток (рис. 126, *б*). В этом случае под верхние крестовины подкладывают выравнивающие деревянные планки на 15—20 мм больше осевого размера цилиндра.

Рис. 126. Стяжка цилиндрических слоевых обмоток:

а — при одинаковых осевых размерах обмотки и бумажно-бакелитового цилиндра, *б* — при осевом размере бумажно-бакелитового цилиндра большем, чем осевой размер обмотки; *1* — обмотка, *2* — нижняя крестовина, *3* — деревянные бруски, *4* — верхняя крестовина, *5* — дистанционные втулки, *6* — шпилька, *7* — рым-гайка

До прессовки обмотку осматривают и выполняют предварительную отделку, заключающуюся в устранении видимых дефектов витковой изоляции, правке прокладок, переходов между катушками и переходов в местах транспозиции винтовых обмоток, а также в устранении других замеченных дефектов.

Прессовка дисковых, непрерывных и винтовых обмоток состоит, как правило, из двух этапов: до сушки и после нее.

Прессовку до сушки производят для создания предварительного давления, под действием которого обмотка во время сушки осаживается. Для увеличения осадки обмоток применяют или повышенное давление затяжки, или пружины, которые устанавливают над верхней прессующей плитой.

После сушки обмотки допрессовывают до расчетного осевого размера (расчетной высоты). Отклонение от расчетной высоты более 0,5% приводит к осложнениям при сборке трансформатора. При

излишней высоте обмоток сложно, а подчас и невозможно собрать активную часть трансформатора (зашихтовать верхнее ярмо). При недостаточной высоте (например, обмоток НН) в собранном трансформаторе обмотки могут остаться незапрессованными, что неизбежно приведет к аварии.

В рассматриваемых типах обмоток высота набора дистанцирующих прокладок составляет 30—60% их полной высоты. В связи с тем что электрокартон практически имеет завышенную толщину с отклонением от номинала до 10%, рассчитать, а тем более обеспечить при изготовлении точную расчетную высоту представляется сложной задачей. Кроме того, к увеличению в момент обработки фактической толщины электрокартона приводит его увлажнение.

В практике изготовления обмоток для получения расчетной высоты и уменьшения усадки в эксплуатации пользуются в основном предварительной опрессовкой заготовок из электрокартона до номинальной толщины прокаткой в обжимном станке с калиброванным зазором между валами. Эта операция называется каландрированием, а картон, прошедший эту операцию, — каландрированным.

Этот прием, однако, не всегда приводит к желаемому результату, и тогда приходится подгонять осевой размер обмотки путем выбивания прокладок при излишней высоте или вставки дополнительных прокладок при недостаточной высоте.

§ 43. Сушка обмоток трансформаторов

Все изоляционные материалы на основе целлюлозы (кабельная, телефонная и крепированная бумага, электрокартон, бумажно-бакелитовые цилиндры) и хлопка (тафтяная и киперная ленты) активно впитывают влагу из атмосферы — увлажняются до определенного равновесного состояния, соответствующего относительной влажности воздуха и атмосферному давлению. У увлажненной изоляции резко снижается электрическая прочность и увеличивается объем — изоляция разбухает.

Процесс увлажнения носит двойственный характер. С одной стороны, молекулы воды заполняют поры между волокнами, с другой — часть молекул присоединяется к молекулам целлюлозы, т. е. находится в молекулярной связи. И те и другие молекулы увлажняют изоляцию, но влияние их различно. Молекулы воды, находящиеся в молекулярной связи, практически не влияют на разбухание и до определенной величины приложенного напряжения на электрическую прочность. Изоляция, имеющая молекулярно-связанную воду, эластична и прочна. Если в процессе длительной вакуумной сушки удалить молекулярносвязанную воду, изоляция станет хрупкой и непрочной, но с очень высокими электроизоляционными свойствами.

Процесс сушки обмоток трансформаторов состоит в удалении воды, находящейся в материале изоляции в свободном состоянии. На качество и скорость сушки влияют следующие основные факторы: температура, относительная влажность окружающего изоляцию воз-

духа, внешнее по отношению к изоляции барометрическое давление, скорость движения воздуха непосредственно у поверхности изоляции и величина поверхности изоляции.

На крупных электроремонтных заводах сушку обмоток производят в вакуум-сушильных камерах с паровым обогревом. Основной частью вакуум-сушильной камеры является сварной корпус — бак *1* (рис. 127), на раме которого имеется уплотняющая прокладка из термостойкой резины. Крышка *2* закреплена на приспособлении, с

Рис. 127. Горизонтальная вакуум-сушильная камера:
1 — сварной бак, *2* — крышка, *3* — тележка, *4* — бачок для конденсата, *5* — задвижка Лудло, *6* — манометр, *7* — термометр сопротивления, *8* — радиаторы парового обогрева, *9* — вакуумметр, *10* — конденсационная колонка, *11* — вакуумный насос ВН-6, *12* — выхлопная труба, *13* — кран для снятия вакуума, *14* — предохранительный клапан

помощью которого она открывается и закрывается. Во время сушки дверь крепят откидными болтами. На внутренней поверхности и дне камеры располагают радиаторы парового обогрева *8*, по которым пропускают пар, поднимающий температуру в камере до 100—110°С. Для уменьшения потерь теплоты наружные поверхности корпуса и крышки имеют теплоизоляционное покрытие.

Разрежение в камере создается вакуум-насосом. На пути от камеры к вакуум-насосу установлена конденсационная колонка, где проходящие пары влаги конденсируются и стекают в виде конденсата (воды). Кроме того, колонка защищает вакуум-насос от попадания в него воды и позволяет учитывать количество влаги, вышедшей из обмотки. Для измерения остаточного давления в камере установлен прибор ВБС-1 (вакуумметр сопротивления блокировочный), для измерения температуры — термометр сопротивления. Ход сушки ежечасно контролируют, измеряя количество выделившейся влаги.

Процесс вакуумной сушки подразделяется на три основных этапа: 1 — поднятие температуры внутри сушильной камеры до установленной величины; 2 — прогрев обмоток (обмотки прогреваются до температуры, при которой создаются наиболее благоприятные условия для выхода из них влаги); 3 — сушка обмоток (из обмоток удаляется бóльшая часть влаги).

Обмотки для сушки устанавливают на специальной тележке, которая вводится в вакуумно-сушильную камеру. Температура в камере при этом должна быть не выше 50°С. Затем камеру герметически закрывают. Она сообщается с атмосферой посредством вентиля. Включают паровой обогрев радиаторов и начинают прогрев обмо-

ток. Для сохранения изоляции обмотки ставят на расстоянии не менее 200 мм от радиаторов. Температуру поднимают до 100—110°С со скоростью 15°С/ч. При этой температуре прогревают обмотки в течение 4 ч. Время прогрева отсчитывается с момента установления температуры 100°С, после чего закрывают вентиль для впуска воздуха и включают вакуум-насос. Остаточное давление снижают ступенями по 13 000—20 000 Па и на каждой ступени выдерживают в течение 1 ч.

В процессе сушки ведут журнал, в который каждый час заносят температуру, остаточное давление в камере, давление пара и количество конденсата, выделившегося в течение часа. Критерием окончания сушки является прекращение выделения конденсата в течение трех измерений, сделанных с интервалом в 1 ч. Продолжительность сушки обычно составляет 18—24 ч. По окончании сушки выключают паровой обогрев, останавливают вакуум-насос и открывают вентиль для впуска воздуха, после чего открывают дверь камеры, выкатывают тележку и, не снимая обмоток, подтягивают гайки на стяжных шпильках. Далее разгружают тележку.

На многих ремонтных предприятиях для сушки трансформаторов используют термошкафы с электронагревом. В качестве нагревательных элементов таких шкафов используют ТЭНы с температурой нагрева не выше 350°С, так как при температуре более 400°С возможна вспышка паров растворителей пропиточных и покровных лаков. Из U-образных ТЭНов мощностью 1—1,5 кВт и длиной 1 м образуют нагреватель с достаточной площадью излучения.

Для регулирования температуры может служить ртутный контактный термометр, контакты которого задействованы в цепи питания промежуточного реле управления контактором питания нагревателей. На термометре устанавливают предельную температуру нагрева шкафа: для сушки обмоток — 105°С; для запечки лака при изготовлении прессованных деталей изоляции — 135°С. Шкаф снабжают вытяжной вентиляцией.

§ 44. Пропитка и запекание обмоток

Обмотки масляных и сухих трансформаторов I—II габаритов напряжением до 10 кВ пропитывают обычно без предварительной сушки. Обмотки масляных трансформаторов I—II габаритов напряжением 35 кВ и обмотки специальных трансформаторов пропитывают, как правило, после сушки и прессовки (см. предыдущий параграф).

Пропитка и запекание обмоток масляных трансформаторов. Обмотки масляных трансформаторов пропитывают чаще всего лаком МЛ-92 методом окунания. Для получения рабочей вязкости лак разбавляют ксилолом или уайт-спиритом. Подготовленные для пропитки обмотки погружают в бак с лаком так, чтобы уровень лака был выше обмотки не менее чем на 50—100 мм, и выдерживают в лаке до прекращения выделения пузырьков воздуха, но не менее

10 мин. Обмотку вынимают из лака, ставят на поддон до полного стекания излишков лака и выдерживают на воздухе не менее 1 ч, после чего обмотки на специальной тележке загружают в шкаф (камеру) для запекания с обязательной циркуляцией воздуха. Приток свежего воздуха и выброс воздуха с парами растворителей регулируются заслонками. После загрузки обмоток включают обогрев воздуха и систему циркуляции воздуха. Температуру в камере (шкафу) поднимают до (115±5)°С. При этой температуре обмотки запекают до исчезновения отлипа, но не менее 9 ч.

Пропитка и запекание обмоток сухих трансформаторов. Обмотки сухих трансформаторов, работающих в помещениях, защищенных от непосредственного попадания влаги при относительной влажности воздуха до 65%, пропитывают лаком БТ-987 таким же методом, как и обмотки масляных трансформаторов. Пропитанные обмотки запекают при температуре (115±5)°С до исчезновения отлипа, но не менее 12 ч.

Обмотки сухих и специальных трансформаторов, работающих в помещениях с повышенной влажностью, пропитывают и запекают дважды: лаком МЛ-92 и эмалью ГФ-92ГС. Обмотки, пропитанные лаком МЛ-92 и запеченные, погружают в бак с эмалью ГФ-92ГС и выдерживают в течение 2 мин. После этого вынимают, ставят в поддон и дают стечь излишкам эмали в течение 20 мин. Далее обмотку запекают в камере с проточным воздухом при температуре (115±5)°С до исчезновения отлипа, но не менее 6 ч.

§ 45. Отделка обмоток

После прессовки и крепления производят отделку обмоток:

обрезают согласно указаниям на чертеже опорные рейки в верхней части обмоток;

подбивают и выправляют переходы проводов между катушками (витками);

обрезают свободные концы изоляционных лент;

проверяют изоляцию концов обмоток, сами концы выгибают и укладывают в соответствии с чертежом;

еще раз проверяют и при необходимости выравнивают столбы дистанцирующих прокладок, временно ослабив прессовку.

Обмотки, направляемые к месту ремонта трансформатора вне ремонтного предприятия, упаковывают, применяя упаковочную водостойкую бумагу, а также мешки из полиэтиленовой (поливинилхлоридной) пленки.

§ 46. Обмотки измерительных трансформаторов

Вторичные обмотки трансформаторов напряжения, являющиеся обмотками НН, выполняются цилиндрическими простыми или двухслойными, намотанными на цилиндры (гильзы) из электрокартона. Первичные же обмотки трансформаторов напряжения, являющиеся обмотками ВН, выполняются многослойными цилиндрическими ка-

тушечными, состоящими из двух катушек, соединенных последовательно. Строение многослойной катушечной обмотки ВН трансформатора напряжения НОМ-35-66 (на 35 кВ) показана на рис. 128. Применение многослойной катушечной обмотки в данном случае преследует две цели. Во-первых, вдвое уменьшается напряжение между слоями, что позволяет уменьшить толщину междуслойной

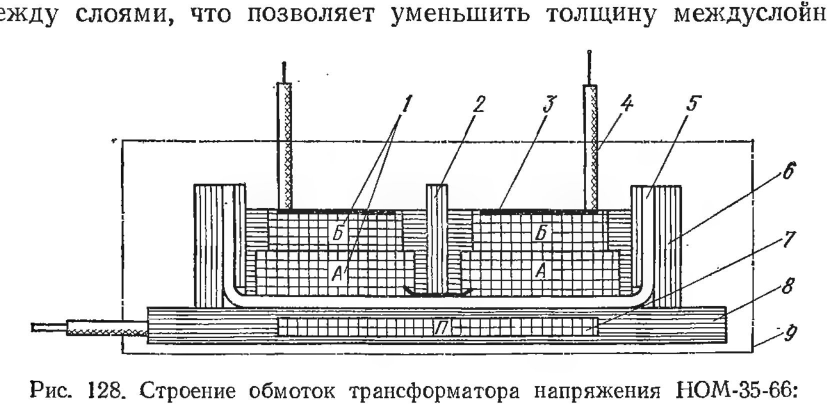


Рис. 128. Строение обмоток трансформатора напряжения НОМ-35-66:
1 — обмотка ВН (катушки *А* и *Б*), *2* — шайбы из электрокартона, *3* — электростатический экран, *4* — общий выводной конец (из гибкого провода) от обмотки ВН и электростатического экрана, *5* — отбортованный цилиндр из кабельной бумаги, *6* — шайбы концевые из электрокартона, *7* — обмотка НН (П), *8* — цилиндр из электрокартона, *9* — контуры окна магнитопровода

изоляции (обмотка ВН имеет большое число витков в каждом слое, а следовательно, большое напряжение между слоями), и, во-вторых, оба выводных конца получаются снаружи обмотки.

Для обмоток ВН трансформаторов напряжения ввиду малых значений тока требуется обмоточный провод малых диаметров. Но провода диаметром менее 0,2 мм не применяются (хотя по значению тока можно было бы взять провод меньшего диаметра) по соображениям механической прочности. Имеется в виду, что у высоковольтных трансформаторов напряжения междуслойная изоляция состоит из нескольких слоев кабельной бумаги, и поэтому, чтобы обеспечить плотную намотку, необходимо иметь достаточное натяжение провода, а следовательно, он должен быть механически прочным, чтобы не было обрывов.

Вторичные обмотки трансформаторов тока выполняют цилиндрическими многослойными и вмотанными в ленточный магнитопровод (сердечник). В последнем случае для ремонта обмотки требуется применение специальных станков, с помощью которых производится вмотка катушек в замкнутый магнитопровод.

Многие типы измерительных трансформаторов тока и напряжения имеют конструкции с применением литой эпоксидной изоляции. Обмотки таких трансформаторов ремонту не подлежат. При намотке обмоток НН и ВН трансформаторов напряжения основным оборудованием служит, как правило, намоточный станок такого типа, как показано на рис. 129. Станок снабжен приводным электродвигателем, педалью с тормозной колодкой *7*, счетчиком *1* числа

оборотов шпинделя, механизмом *3* для автоматической раскладки витков, устанавливаемым в соответствии с диаметром провода и имеющим приспособление для перемены направления хода, управляемое рукояткой *6*. На станке имеется также паяльная ванна *2* для пайки проводов. Дополнительными приспособлениями являются: стойка для барабана с обмоточным проводом и натяжным устройством, газовая горелка и набор шаблонов *5* для намотки обмоток.

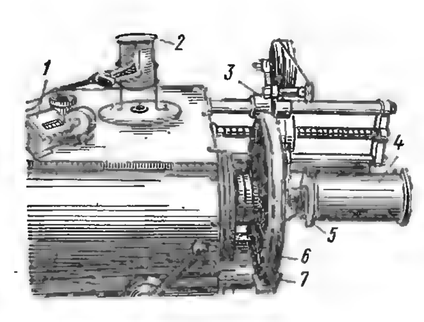


Рис. 129. Намоточный станок:

1 — счетчик оборотов шпинделя, *2* — паяльная ванна, *3* — механизм для автоматической раскладки витков, *4* — готовая обмотка НН, *5* — шаблон (щека), *6* — рукоятка переключения направления хода механизма для раскладки витков, *7* — тормозная колодка

В набор инструментов входят: молоток, плоскогубцы, кусачки, напильник с мелкой насечкой, фибровая прокладка и т. д. Необходимые вспомогательные материалы: припой, флюс, парафин, лента (киперная и тафтяная), бакелитовый лак и др.

В качестве примера типовой технологии намотки катушек трансформаторов напряжения может быть взят процесс намотки катушек трансформатора НОМ-35-66 как один из достаточно сложных. Порядок намотки цилиндрической двухслойной обмотки НН следующий. На шпинделе *6* (рис. 130) обмоточного станка устанавливают и закрепляют стальной шаблон со щеками *5*. На шаблон наматывают цилиндр из электрокартона толщиной 0,5 мм в три оборота и край листа промазывают густым бакелитовым лаком. Полученный цилиндр провальцовывают деревянным валиком и обвязывают хлопчатобумажной лентой. По краям цилиндра вплотную к щекам наматывают выравнивающие концевые полосы *2*, концы которых подклеивают к цилиндру и также обвязывают лентой.

Натяжение обмоточного провода должно быть отрегулировано так, чтобы была обеспечена плотная намотка катушки и в то же время не повреждалась изоляция провода. Отмерив длину выводного конца, на него надевают линоксиновую трубку, провод загибают, продевают под ленту, обвязывающую концевую изоляцию, укладывают в вырезе щеки шаблона и закрепляют, обернув конец провода за шпиндель. Счетчик числа оборотов устанавливают на нуль и приступают к намотке катушки.

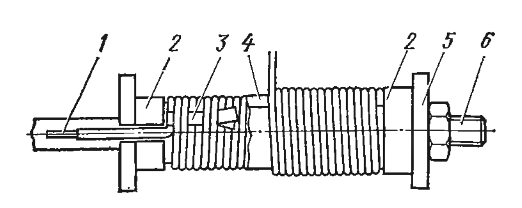


Рис. 130. Намотка двухслойной цилиндрической обмотки НН трансформатора напряжения НОМ-35-66:

1 — обмоточный провод, *2* — полоса концевая из электрокартона, *3* — петля из тафтяной ленты, *4* — междуслойная изоляция, *5* — стальная щека шаблона, *6* — шпиндель станка

На первый виток накладывают две петли из тафтяной ленты, как показано на рис. 130, наматывают 4—5 витков, затягивают петли, наматывают 2—3 витка под лентой и затем пропускают концы ленты под следующие витки. Далее, сняв временную ленту, обвязывающую цилиндр, продолжают намотку обмотки, наблюдая за тем, чтобы провод ложился ровно и плотно и чтобы на нем не было нарушения изоляции.

Намотав первый слой, укладывают междуслойную изоляцию *4* и поверх нее концевые полосы *2*, обвязав их тафтяной лентой. Далее наматывают второй слой обмотки, уплотняя витки фибровым или деревянным клином. За 5—6 витков до конца второго слоя подкладывают петли из ленты и доматывают обмотку до нужного числа витков. Отмерив длину выводного конца, провод отрезают, надевают линоксиновую трубку, продевают через незатянутые петли тафтяной ленты и изгибают, петли затягивают. Выводной конец бандажируют к обмотке 6—8 оборотами ленты.

Готовую обмотку снимают со станка, вынимают шаблон, зачищают выводные концы на 50 мм и предъявляют на контроль. Технический контроль заключается во внешнем осмотре, проверке размеров обмотки и провода, правильности расположения, крепления и изоляции выводных концов. Затем обмотку направляют на контрольный пункт испытательной станции для проверки числа витков и отсутствия виткового замыкания.

Обмотку ВН трансформатора НОМ-35-66 наматывают поверх обмотки НН. Обмотка ВН выполняется цилиндрической катушечной (состоит из двух катушек). Для намотки обмотки ВН на станок устанавливают готовую обмотку НН, промазывают бакелитовым лаком и наматывают на нее листовой электрокартон, ширина которого равна осевому размеру обмотки (по щекам). Общая радиальная толщина изоляции из электрокартона должна быть равна 6 мм. Конец листа промазывают снизу бакелитовым лаком, провальцовывают деревянным валиком и временно обвязывают несколькими оборотами киперной ленты. Далее края электрокартона смазывают лаком, снимают временную обвязку и плотно накатывают цилиндр из полосы кабельной бумаги на общую толщину 6 мм. Полоса должна быть надсечена с обеих сторон на глубину 65 мм с шагом 16 мм; ширина полосы — больше осевого размера обмотки. Надсеченные края бумаги, будучи отогнуты, образуют также изоляцию торцев обмотки (см. рис. 103, поз. *5*). При накладке полосы следят за тем, чтобы надсеченные края бумаги не подвертывались, выступали одинаково с обеих сторон и чтобы совпадение надрезов было не более 25%. Края бумаги обрезают, смазывают лаком и бандажируют тафтяной лентой.

Далее, сняв обмотку со станка и сняв тафтяную ленту, поверх цилиндра из кабельной бумаги надевают шайбы из электрокартона *2* (см. рис. 130) и *1* (рис. 131). Шайбы располагают таким образом, чтобы в середине обмотки общая их толщина составляла 8 мм, а по краям — 3 мм. Крайние шайбы прижимают к аккуратно и тщательно расправленным надсеченным краям отбортованного ци-

линдра и между крайними и средними шайбами устанавливают технологические дистанцирующие прокладки из гофрированной картонной полосы *8* шириной 75 мм, закрепляя их двумя-тремя оборотами киперной ленты.

Собранный комплект со стальными щеками *4* шаблона устанавливают на шпиндель *5* станка и закрепляют. Так как направление намотки катушек ВН левое, то начинают наматывать катушку, находящуюся справа (у которой начало будет слева). Первый (и последний) слой каждой катушки наматывают обмоточным проводом диаметром 0,74 мм (усиленного сечения) марки ПЭЛ. Конец провода *7* с надетой на него линоксиновой трубкой *6* продевают под средние шайбы *1* и закрепляют его. Счетчик оборотов устанавливают на нуль и наматывают первый слой катушки *А* (см. рис. 128), предварительно подложив под него полосу электрокартона (чтобы не дать сдвигаться шайбам) и междуслойную изоляцию. После намотки первого слоя кладут междуслойную изоляцию, обрезают провод диаметром 0,74 мм, припаивают провод диаметром 0,2 мм (основного размера) марки ПЭЛ, изолируют лакотканью место пайки и продолжают намотку катушки *А*, прокладывая после каждого слоя междуслойную изоляцию. Приспособление для раскладки витков в слое должно быть установлено в соответствии с диаметром наматываемого провода.

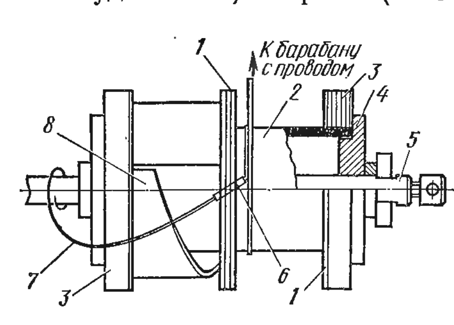


Рис. 131. Намотка многослойной цилиндрической катушечной обмотки ВН трансформатора напряжения НОМ-35-66:

1 — промежуточная шайба из электрокартона, *2* — изоляционный цилиндр, намотанный поверх обмотки НН (отбортованный цилиндр из кабельной бумаги не показан), *3* — временное (технологическое) выравнивающее кольцо, *4* — стальная щека шаблона, *5* — шпиндель станка, *6* — линоксиновая трубка, *7* — обмоточный провод, *8* — временная дистанцирующая гофрированная полоса из электрокартона

При переходе в катушку *Б* (меньшего осевого размера) кладут междуслойную изоляцию с более широкими отогнутыми краями. В конце предпоследнего слоя провод обрезают, спаивают с проводом диаметром 0,74 мм, изолируют место пайки, укладывают междуслойную изоляцию и электростатический экран *3* (см. рис. 128), состоящий из латунной фольги, уложенной на полосу из электрокартона с загнутыми краями. Экран кладут таким образом, чтобы его выводной конец, который будет служить также и выводом из катушки, был обращен к ее торцу. Поверх экрана кладут два слоя междуслойной изоляции и наматывают последний слой катушки *Б* с поджимкой изоляции фибровым клином, чтобы экран плотно прилегал к катушке. Провод обрезают и припаивают к экрану. Сверху катушку обертывают полосой электрокартона, через отверстие в котором пропускают выводной конец. После этого катушку бандажируют тафтяной лентой.

Намотанную первую группу катушек ВН (*А — Б*) вместе с обмоткой НН снимают с обмоточного станка, разворачивают на 180° другим концом обмотки, вновь устанавливают на станок и закрепляют для намотки второй группы катушек обмотки ВН. Снимают временную гофрированную полосу, к началу только что намотанной катушки припаивают провод диаметром 0,74 мм, изолируют место пайки и наматывают вторую группу катушек, полностью повторяя все технологические операции, выполненные при намотке первой группы катушек.

Готовую обмотку снимают со станка, освобождают от щек и технологических колец, на место последних устанавливают комплект шайб, временно обвязав их в двух-трех местах киперной лентой в осевом направлении. Затем обмотку окончательно отделывают, обрезают выступающие за шайбы надсеченные концы отбортованного цилиндра, зачищают выводные концы, после чего обмотку передают на контроль. Обмотка, прошедшая технический контроль, далее направляется на предварительную сушку в вакуум-сушильном шкафу. Предварительно высушенная обмотка подается на контрольный пункт испытательной станции, где проверяется число витков. Предварительная сушка обмоток ВН трансформаторов напряжения на 35 кВ и выше необходима, так как при увлажнении изоляции обмоток из-за возможного наличия токов утечки проверка числа витков оказывается практически невозможной.

С испытательной станции обмотку вторично отправляют в пропиточное отделение для пропитки лаком МЛ-92. Процесс пропитки обмотки заключается в ее предварительном прогреве, сушке, пропитке лаком(методом окунания) и запекании. Пропитка лаками многослойной обмотки и последующее запекание помимо увеличения электрической прочности и влагостойкости способствуют приданию обмотке механической прочности.

После выгрузки из печи обмоткам дают остыть, затем еще раз подвергают техническому контролю и направляют на сборку трансформаторов.

Выше было отмечено, что в условиях ремонтных предприятий могут быть отремонтированы обмотки далеко не всех типов трансформаторов тока. Обычно здесь могут быть отремонтированы лишь такие трансформаторы тока, с которых может быть снята обмотка. В основном это трансформаторы, имеющие шихтованные магнитопроводы (сердечники), такие, как, например, трансформаторы ТКФ-3, ТФ-10, ТПФ-10 и т. п.

Вторичные обмотки трансформаторов тока — слоевые, намотанные на изоляционные прямоугольные каркасы. При перемотке обмоток трансформаторов тока особое внимание должно быть обращено на соблюдение заводской раскладки витков, общей формы и размеров обмотки. Витки обмотки должны быть равномерно распределены по ее высоте, особенно в ее последнем слое (у многослойной обмотки).

Направление намотки также имеет существенное значение. Оно должно совпадать с направлением намотки первичной обмотки, т. е. направление обхода должно быть одинаковым от $И_1$ к $И_2$ и от

$Л_1$ к $Л_2$ (обозначения указаны на трансформаторе). Вторичные обмотки после перемотки должны быть пропитаны соответствующими лаками (асфальтовым или глифталевым) с последующими сушкой и запеканием по заводской инструкции.

Установку первичной обмотки на магнитопровод следует производить симметрично относительно вторичной, т. е. в соответствии с первоначальным (заводским) ее расположением. Изменение положения обмоток может изменить погрешность трансформатора тока.

Перемотка вторичных обмоток трансформаторов тока, имеющих ленточные магнитопроводы, значительно сложнее. В случае крайней необходимости она может быть выполнена вручную, с обязательным соблюдением первоначального расположения витков и размеров.

§ 47. Порядок разборки и сборки трансформаторов

Разборка и сборка трансформаторов представляют собой комплексы различных и очень ответственных операций, выполняемых в последовательности, определяемой главным образом конструкцией трансформаторов.

Неправильная разборка трансформатора очень часто приводит к повреждению отдельных деталей, пригодных для повторного использования, увеличивает сроки пребывания трансформатора в ремонте.

Трансформатор, собранный с грубым нарушением правил сборки, аварийно выйдет из строя в момент подключения к электрической сети или же после непродолжительной работы.

Электромонтер-обмотчик и изолировщик обычно не занимается разборкой и сборкой трансформаторов, но обязан знать основные способы выполнения этих операций.

Разборка трансформатора. Разборку трансформатора производят в сухом, отапливаемом и приспособленном для этого помещении, оборудованном грузоподъемными механизмами, рассчитанными на массу ремонтируемых трансформаторов, а также необходимым инвентарем и инструментами.

Полную разборку маслонаполненного трансформатора с расширителем выполняют, придерживаясь следующего порядка.

Сливают масло до уровня на 15—20 см ниже кромки бака, а затем, отсоединив патрубок, соединяющий расширитель с баком, снимают с кронштейнов расширитель. Если в патрубок врезано газовое реле, то разборку (после слива масла) начинают с демонтажа газового реле. Сняв патрубок, устанавливают заглушку на отверстии в крышке, чтобы масло, находящееся в баке, не загрязнилось и не увлажнилось. На этой стадии разборки принимают меры к сохранности демонтируемых приборов и деталей (газового реле, термометра, термосигнализатора, маслоуказателя, прокладок, крепежных деталей и др.).

Продолжая разборку, отвертывают болты с гайками по всему периметру бака и поднимают с помощью подъемных механизмов (таль, кран, лебедка) крышку трансформатора. Если активная часть

трансформатора прикреплена к его крышке, то вместе с крышкой поднимают и активную часть. При подъеме крышки поступают следующим образом. Приподняв крышку на 20—25 см над баком, осматривают состояние уплотняющей прокладки, и если она пригодна для повторного использования, принимают меры к ее сохранению. Прокладку часто устанавливают, покрывая ее поверхность бакелитовым лаком, от чего с течением времени отделить ее от бака или крышки бывает очень трудно: делают это осторожно с помощью ножа и так, чтобы во время работы пальцы работающего не оказались в пространстве между крышкой и баком трансформатора.

У трансформаторов, вводы которых расположены не на крышке, а на стенках бака, вначале снимают крышку, сливают масло из бака до понижения его уровня на 10—15 см ниже отверстий, в которых установлены вводы, а затем, отсоединив отводы обмотки от стержней, демонтируют вводы, после чего поднимают активную часть трансформатора.

Трансформатор может быть вскрыт при условии, что температура окружающего воздуха ниже или, в крайнем случае, равна температуре вынимаемой из бака активной части трансформатора. В противном случае находящаяся в окружающем воздухе влага будет конденсироваться на поверхности изоляции обмотки и других изоляционных частей, что может привести к резкому снижению их электрической прочности. При необходимости создания условий, исключающих конденсацию влаги на изоляции, активную часть трансформатора помещают в обогреваемое помещение или подогревают обмотки до температуры, превышающей на 10—15°С температуру окружающего воздуха в помещении. Одним из наиболее простых и всегда доступных способов подогрева активной части является способ короткого замыкания, при котором обмотки НН замыкают накоротко (закорачивают), а к обмоткам ВН подводят пониженное напряжение 220 или 380 В.

Продолжительность пребывания активной части вне масла не должна превышать 12 ч при влажной погоде, 16 ч — при сухой. Это время начинают исчислять с момента начала слива масла из трансформатора. Выполнение этих требований имеет смысл в том случае, если работы по ремонту могут быть выполнены в течение соответственно 10 или 15 ч и не связаны с частичной или полной заменой обмоток, так как в последнем случае их придется сушить независимо от длительности пребывания активной части вне масла.

При подъеме активной части должны соблюдаться меры предосторожности, исключающие возможность повреждения обмоток стропами.

Активную часть устанавливают на помосте и, поливая подогретым до 40°С трансформаторным маслом, очищают от грязи, после чего производят осмотр и дефектацию.

Целью дефектации является выявление места, характера и степени повреждений: обнаруженные дефекты отмечают в дефектационной карте. При дефектации поступивших в ремонт трансформаторов старых конструкций, сведения о которых могут отсутствовать в

типовых альбомах, снимают размеры и делают эскизы неповрежденных обмоток и изоляционных деталей. Выполнение этой части работы нередко поручают электромонтеру-обмотчику и изолировщику, которому предстоит изготовление новой обмотки или изоляционных деталей.

Проверив доступные осмотру части трансформатора, переходят к дальнейшей разборке — распрессовке и расшихтовке верхнего ярма магнитопровода, а затем и к демонтажу обмоток.

Для того чтобы распрессовать верхнее ярмо магнитопроводов трансформаторов I и II габаритов, отвертывают гайки и снимают закрепленные на ярмовых балках подъемные угольники. Затем торцевым ключом отвертывают верхние гайки с вертикальных прессующих шпилек, поочередно ослабляют гайки с одной стороны горизонтальных шпилек, прессующих верхнее ярмо, и снимают верхние ярмовые балки.

Расшихтовку верхнего ярма магнитопровода начинают с удаления крайних пластин. Пластины вынимают, соблюдая следующий порядок: при расшихтовке ярма магнитопровода трансформаторов I и II габаритов одновременно вынимают 9—12 пластин одного пакета; расшихтовку верхнего ярма магнитопровода трансформаторов III или IV габаритов производят, одновременно вынимая по две или три пластины, в зависимости от того, как он был собран. Расшихтовывают верхнее ярмо аккуратно, чтобы не повредить изоляцию пластин.

Закончив расшихтовку верхнего ярма магнитопровода, снимают последовательно со всех его стержней сначала обмотки ВН, а затем и НН. Демонтаж обмоток выполняют, предварительно отпаяв все соединения концов обмоток ВН и НН.

Пакеты пластин ярма магнитопровода связывают. Для предохранения изоляции пластин стержней магнитопровода от повреждений и загрязнения пластины плотно стягивают бандажом из киперной ленты.

Все снятые при разборке трансформатора части и детали сортируют и тщательно хранят. Принимают меры к предотвращению увлажнения неповрежденных обмоток и изоляционных деталей, снятых с ремонтируемого трансформатора. Поврежденные части и детали направляют вместе с маршрутной картой ремонта в соответствующие ремонтные подразделения электроцеха или электроремонтного завода.

Сборка трансформатора. Технологическая последовательность выполнения операций сборки отремонтированного трансформатора определяется его конструкцией. Несмотря на разнообразие конструкций, процесс сборки всех трансформаторов после ремонта можно разделить на два основных этапа. На первом этапе сборки выполняют операции установки изоляции обмоток, насадки и расклиновки обмоток, шихтовки и прессовки верхнего ярма, прессовки обмоток, сборки и соединения схемы. На втором этапе сборки опускают активную часть в бак, устанавливают на крышке все детали (расширитель, предохранительную трубу, привод переключателя и

др.), крепят крышку к баку и заливают бак сухим трансформаторным маслом.

В процессе выполнения работ первого и второго этапов сборки производят необходимые проверки и испытания, в частности проверяют электрическую прочность изоляции отдельных элементов ак-

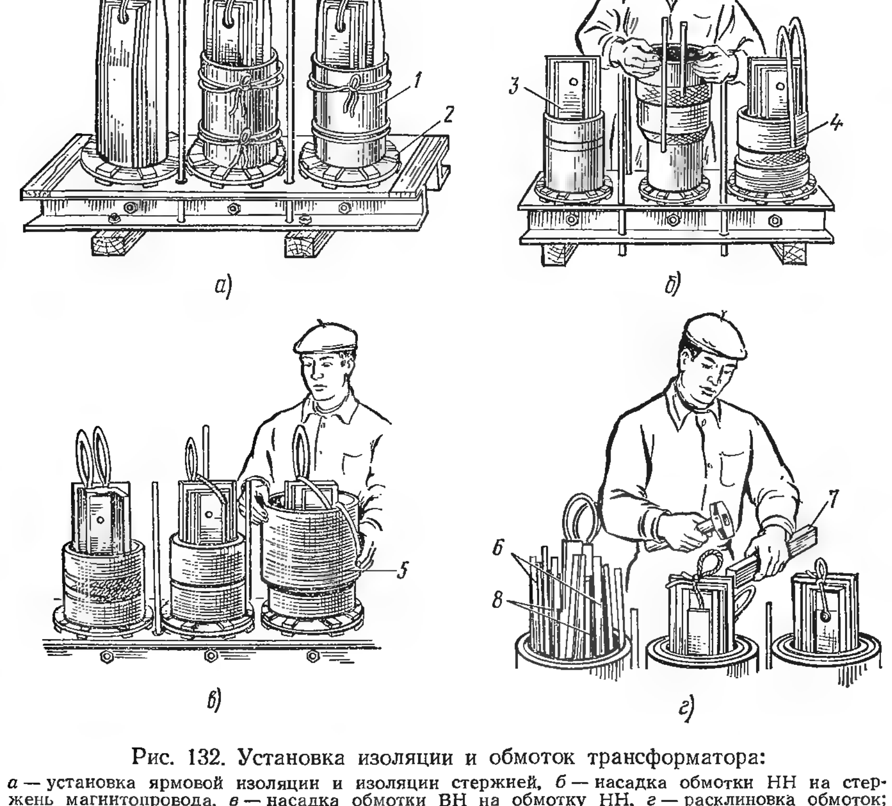


Рис. 132. Установка изоляции и обмоток трансформатора:
а — установка ярмовой изоляции и изоляции стержней, *б* — насадка обмотки НН на стержень магнитопровода, *в* — насадка обмотки ВН на обмотку НН, *г* — расклиновка обмоток; *1* — мягкий цилиндр из электрокартона (изоляция стержня), *2* — ярмовая изоляция, *3* — стержень магнитопровода, *4* — обмотка НН, *5* — обмотка ВН, *6* — планки, *7* — надставка, *8* — круглые стержни

тивной части, правильность присоединения ответвлений к контактам переключателя и четкость его работы, наличие электрической цепи между магнитопроводом и корпусом заземляемого бака, испытывают электрическую прочность масла, заливаемого в бак отремонтированного трансформатора, а также производят ряд других проверок и испытаний, объем, нормы и последовательность выполнения которых определяют в зависимости от характера и принятой технологии ремонта.

Установка изоляции и насадка обмоток на стержни магнитопровода. До начала насадки обмоток пластины стержней магнитопровода выравнивают и плотно стягивают тафтяной лентой, пропущенной через отверстие в них. Обмотки должны быть надежно изолированы от магнитопровода. Изоляцию магнитопроводов трансформаторов I и II габаритов начинают с установки ярмовой изоляции (рис. 132,*а*), после чего приступают к насадке на стержни магнитопровода обмотки НН (рис. 132,*б*), а затем концентрически и обмотки ВН (рис. 132,*в*).

При насадке обмоток должно быть обращено внимание на правильное расположение отводов по отношению к магнитопроводу и друг к другу; отводы обмоток НН должны находиться на стороне, противоположной отводам обмоток ВН. После насадки обмотки расклинивают буковыми планками (рис. 132,*г*) и круглыми стержнями *8*. Для этого устанавливают две электрокартонные обертки между обмотками ВН и НН, а между обертками вставляют на глубину 30—40 мм прямоугольные планки, предварительно натертые парафином, чтобы они не задирали обертки. Затем поочередно забивают каждую пару планок, находящихся друг против друга. Если планки входят туго, их строгают или заменяют более тонкими; под свободно входящие планки подкладывают тонкие полоски электрокартона.

После расклиновки обмоток ВН таким же образом расклинивают обмотки НН круглыми стержнями и фасонными планками, забиваемыми между цилиндром и ступенями стержня магнитопровода. Стержни и планки располагают по всей длине обмотки.

Осадку стержней *8* и планок *6* производят ударами молотка по надставке *7* (см. рис. 132,*г*), изготовленной из дерева или фибры, избегая при этом сильных ударов, способных расколоть конец стержня или планки. Чтобы сохранить цилиндрическую форму обмоток, вначале забивают круглые стержни, а затем планки. Достигшие уровня стали магнитопровода стержни и планки осаживают также ударами молотка через надставку так, чтобы случайно не повредить пластины магнитопровода или изоляцию обмотки.

Шихтовку верхнего ярма магнитопровода трансформаторов мощностью до 630 кВ·А включительно начинают с центрального пакета среднего стержня одновременно с двух сторон ярма. У внутренних граней крайних стержней временно устанавливают пластины, чтобы точно уложить слои пластин ярма. Пластины закладывают изолированной стороной внутрь. Если в процессе ремонта лакировались не все пластины, а половина, шихтуют пластины через одну, т. е. так, чтобы каждая нелакированная пластина соседствовала с лакированной и между каждыми двумя пластинами был слой лака. При шихтовке используют эскиз, снятый при расшихтовке.

К шихтовке верхнего ярма предъявляют следующие требования:

не допускаются нахлесты пластин ярма на короткие пластины стержней;

зазоры в стыках допускаются не более 0,3 мм (проверяют щупом);

отверстия в пластинах ярма и стержней должны точно совпадать;

угловые пластины ярма с вертикальными пластинами стержней должны ровно стыковаться.

При шихтовке могут возникать «гребешки» (выступание некоторых пластин). Необходимо подбивать их молотком через картонную (гетинаксовую) подкладку после сборки каждого слоя. Окончательно все «гребешки» подбивают после прессовки обмоток. При укладке второго пакета со стороны НН между пластинами ярма вставляют заземляющую ленту на глубину 50—60 мм, изолируя ее от торцев пластин электрокартонной полоской.

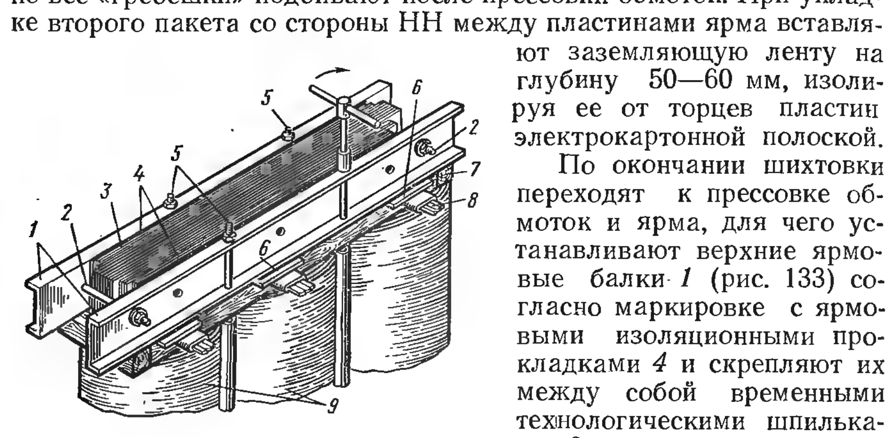


Рис. 133. Прессовка обмоток и ярма:

1 — ярмовые балки, *2* — временная затяжная шпилька, *3* — пластины верхнего ярма, *4* — ярмовые изоляционные прокладки, *5* — вертикальные шпильки, *6* — электрокартонные щитки, *7* — буковые планки, *8* — концы отводов обмотки НН, *9* — обмотки НН

По окончании шихтовки переходят к прессовке обмоток и ярма, для чего устанавливают верхние ярмовые балки *1* (рис. 133) согласно маркировке с ярмовыми изоляционными прокладками *4* и скрепляют их между собой временными технологическими шпильками *2*, затягивая слабо и не прессуя пластины. У выхода концов *8* обмотки НН между полкой ярмовой балки и буковыми планками *7* устанавливают электрокартонные щитки *6*. Между ярмовой балкой *1* на стороне НН и прокладкой *4* зажимают второй конец заземляющей ленты. Ярмовые балки своими отверстиями надеваются на вертикальные шпильки *5*, которые стягивают торцевым ключом, обеспечивая прессовку обмоток с необходимым усилием. Затем устраняют оставшиеся неровности, подбивая их молотком массой 800 г через деревянную подкладку или медную шину. Далее вставляют в отверстия ярма стяжные ярмовые шпильки с надетыми на них бумажно-бакелитовыми трубками, на оба конца каждой шпильки надевают изоляционные и стальные шайбы и навинчивают гайки (рис. 134). Если шпильки с трубками в отверстия не входят из-за возможного смещения пластин, отверстия поправляют стальной конусообразной оправкой.

После окончательной затяжки стяжных шпилек проверяют мегаомметром отсутствие металлических замыканий между каждой шпилькой и ярмом, и если они будут обнаружены, выясняют их причину и устраняют. Гайки раскернивают на шпильках в трех местах.

После сборки и прессовки верхнего ярма и обмоток проводят необходимый комплекс промежуточных испытаний.

В частности, на этой стадии сборки проверяют изоляцию стяжных шпилек и ярмовых балок магнитопровода. У отремонтированных трансформаторов, если ремонт производился в электроремонтном цехе, считают изоляцию шпилек и ярмовых балок удовлетворительной при сопротивлении не ниже 100 МОм.

На специализированных ремонтных заводах и в электроремонтных цехах крупных предприятий, располагающих испытательными установками, прочность изоляции стяжных шпилек испытывают в

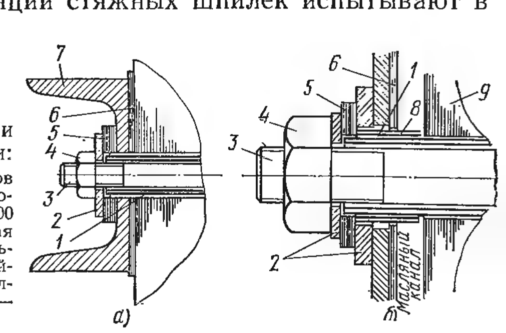


Рис. 134. Изоляция ярмовых балок и стяжных шпилек от активной стали:

а — магнитопровода трансформаторов мощностью до 630 кВ·А, *б* — магнитопровода трансформаторов мощностью 1000 кВ·А и выше; *1* — бумажно-бакелитовая трубка, *2* — стальные шайбы, *3* — шпилька, *4* — гайка, *5* — электрокартонная шайба, *6* — электрокартонная прокладка толщиной 2—3 мм, *7* — ярмовая балка, *8* — изоляционная втулка, *9* — ярмо

течение 1 мин переменным током на напряжение 2000 В. Для этих целей можно использовать трансформатор напряжения НОМ на 6 или 10 кВ, включенный по схеме, приведенной на рис. 135. При исправном состоянии проверяемой изоляции нить лампы *6* не накаляется или имеет слабый накал. При пробое изоляции лампа будет

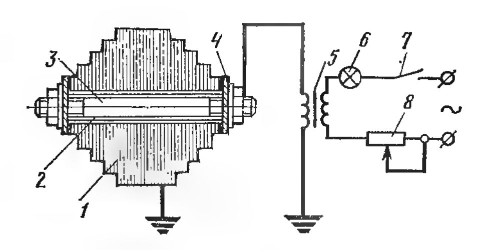


Рис. 135. Схема испытания изоляции стяжных шпилек магнитопровода:

1 — активная сталь магнитопровода, *2* — бумажно-бакелитовая изоляционная трубка, *3* — стяжная шпилька, *4* — стальная накладка или ярмовая балка, *5* — испытательный трансформатор, *6* — лампа накаливания, *7* — выключатель, *8* — реостат

светить ярко вследствие короткого замыкания в цепи вторичной обмотки трансформатора напряжения и прохождения по этой цепи и через нить лампы тока короткого замыкания. В приведенной схеме лампу накаливания можно заменить обычным амперметром. Заключительными операциями первого этапа сборки трансформатора являются сборка и соединение схемы.

Сборка и соединение схемы. Обмотки трехфазных силовых трансформаторов, применяемых в электроустановках промышленных предприятий, как правило, соединены звездой и только в редких случаях — треугольником. Концы обмоток соединяют пайкой, выполняемой специальными паяльниками. Пайку лучше выполнять серебряными припоями, однако в ремонтной практике для соединения концов обмоток трансформаторов небольших мощностей пайку час-

то выполняют оловянисто-свинцовым припоем ПОС-40 (58% свинца, 40% олова и 2% сурьмы). Концы обмоток тщательно зачищают и, наложив их друг на друга на участке длиной 15—30 мм (в зависимости от сечения проводов), соединяют скобочкой из луженой медной ленты толщиной 0,25—0,4 мм. При отсутствии медной ленты на участок пайки накладывают проволочный бандаж из медной луженой проволоки толщиной 0,5 мм.

Перед пайкой соединяемый участок очищают от жира и обрабатывают флюсом. В качестве флюсов при пайке медных проводов обмоток припоем ПОС-40 применяют канифоль. Припой ПОС-40 плавится при 235°С. Соединения, выполненные с помощью оловянисто-свинцового припоя, не обладают высокой температуростойкостью и механической прочностью, поэтому в мощных трансформаторах для соединения концов обмоток и особенно для присоединения их к отводам применяют меднофосфористый припой (92,5% меди и 7,5% фосфора), который плавится при 715°С. Пайку этим припоем производят паяльными щипцами. Во время пайки обмотки закрывают электрокартонными листами, чтобы предохранить их от повреждения каплями припоя или от случайного прикосновения нагретым паяльником.

После пайки очищают участки соединений проводов от выступающих частиц припоя, изолируют крепированной бумагой и лакотканью шириной 20—25 мм, накладываемыми в два слоя с полуперекрытием, и покрывают лаком ГФ-95.

Концы обмоток трансформатора соединяют с помощью отводов с контактами переключателя и токопроводящими стержнями вводов. Отвод представляет собой отрезок круглого провода или прямоугольной шины, на одном конце которого имеется демпфер. Демпферы служат для предохранения отвода от обрыва при перемещении сердечника внутри бака во время транспортировки, а также для компенсации отклонений от требуемых расстояний по вертикали между магнитопроводом и крышкой бака.

При ремонте, как правило, используют снятые при разборке отводы трансформатора. Если отводы оказываются поврежденными настолько, что непригодны для дальнейшего использования, то по их образцу изготовляют новые из круглого провода или из прямоугольных шин. Отрезок провода (шины) размечают и после подогрева изгибают, подгоняя по месту. Для отводов обмоток НН применяют голые медные провода, а для отводов ВН — изолированные провода марки ПБ или гибкий кабель марки ПБОТ.

Демпферы с отводами и отводы с выводами обмотки ВН соединяют пайкой или сваркой (рис. 136, *а*, *б*, *в*). Пайку производят внахлестку оловянисто-свинцовым или фосфористо-медным припоем с помощью электропаяльных клещей. Операция сварки отводов из круглого провода обмоток ВН показана на рис. 136, *г*.

Места прнсоединения отводов к концам обмоток изолируют крепированной бумагой или лакотканью, нарезанной на полосы шириной 25—30 мм. Изолированные участки оплетают одним слоем тафтяной ленты шириной 15—20 мм, наложенной в полуперекрыш-

ку, а затем покрывают двумя слоями лака ГФ-95. Тафтяная лента и лаковое покрытие защищают основную изоляцию на участке соединения. Чтобы отводы не окислялись, их (кроме контактных поверхностей) также покрывают лаком ГФ-95, предварительно обезжирив бензином. Когда отводы из круглого провода изолированы по всей длине бумажно-бакелитовыми трубками, изолируют лакотканью только стыки трубок. При этом следят за тем, чтобы стыки трубок не оказались в месте крепления отводов планками и были смещены относительно стыков соседних отводов не менее чем на 50 мм. Отводы крепят деревянными планками к ярмовым балкам. Участки крепления отводов изолируют двумя слоями лакоткани.

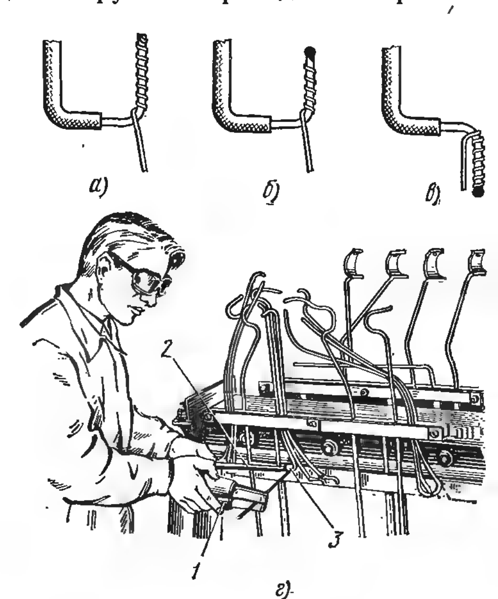


Рис. 136. Сварка отводов обмотки:
а — подготовка отводов к сварке, *б* — сварка выполнена, *в* — отвод подготовлен к изоляции, *г* — операция сварки; *1* — сварочные клещи, *2* — захват с крючком для удержания свариваемого участка, *3* — привариваемый отвод

Собранный полностью трансформатор сушат в специальных печах или в собственном баке методом нагрева от индукционных потерь в стали бака. Изоляционные детали трансформатора состоят в основном из волокнистых материалов (дерево, электрокартон, бумага), интенсивно впитывающих влагу, содержащуюся в окружающем воздухе, что приводит к снижению их электроизоляционных свойств. В целях обеспечения возможно высокой электрической прочности изоляции сердечник трансформатора подвергают сушке, в процессе которой удаляется влага из его твердой изоляции.

Существуют различные способы сушки трансформаторов: в вакуум-сушильных камерах с паровым обогревом, в специальных термошкафах с электронагревом, методом индукционных потерь в стали бака, инфракрасными лучами, воздуходувкой, токами короткого замыкания и др. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки.

При ремонте трансформаторов в электроцехах небольших предприятий, не имеющих специального оборудования, одним из наиболее доступных способов сушки является сушка активной части методом нагрева от индукционных потерь в стали бака. Сущность метода заключается в том, что при прохождении переменного тока по временной намагничивающей обмотке, наложенной на бак,

образуется сильное магнитное поле, которое, замыкаясь через сталь бака, нагревает его. При этом нагреваются все металлические части внутри бака, способствуя таким образом испарению влаги из изоляции обмоток и магнитопровода.

В ремонтной практике активную часть трансформаторов I—III габаритов сушат методом нагрева бака индукционными потерями

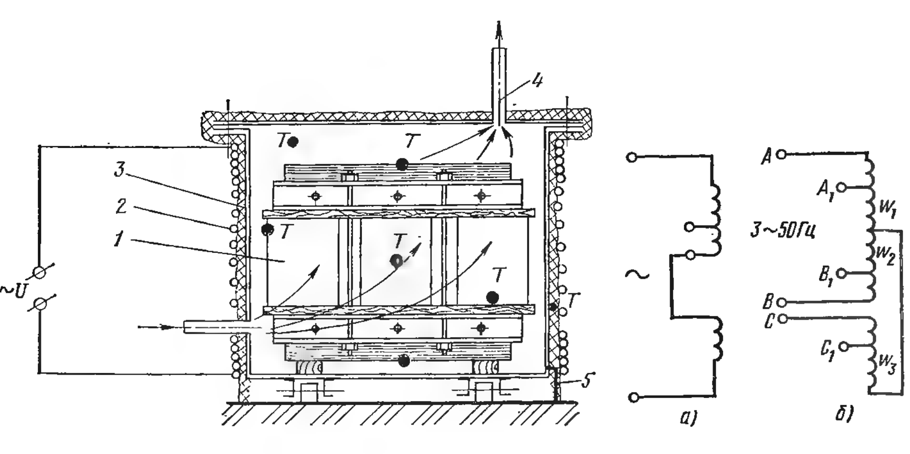


Рис. 137. Сушка активной части трансформатора в собственном баке методом индукционных потерь в стали бака

Рис. 138. Схемы намагничивающей обмотки:

а — однофазная, *б* — трехфазная, соединенная в звезду

в его стали. Сушку активной части в собственном баке можно производить без масла в баке или с маслом (подсушка). Если сушке подвергают активную часть с новыми обмотками, то целесообразнее сушить их в баке без масла, как показано на рис. 137.

Внутреннюю поверхность бака тщательно протирают перед установкой в ней активной части трансформатора для сушки. Во избежание конденсации водяных паров крышку хорошо утепляют, а под дно бака устанавливают электрические обогреватели. Крышку и стенки бака *3* утепляют обычно двумя-тремя слоями асбестового полотна. Для обеспечения безопасности при сушке бак заземляют, соединяя его перемычкой *5* с заземляющим контуром.

На отверстиях в крышке устанавливают временные заглушки, а для выхода влажного воздуха из бака в процессе сушки одно из отверстий в крышке временно используют для установки вытяжной (выхлопной) трубы *4*; у трансформаторов с предохранительной трубой снимают диафрагму.

Поверх утепления накладывают временную намагничивающую обмотку *2*, выполненную проводом ПДА с теплостойкой асбестовой изоляцией. Такая обмотка может иметь схему однофазную (рис. 138, *а*), достаточную для сушки активной части трансформаторов I и II габаритов, или трехфазную (рис. 138, *б*), применяемую для сушки активной части трансформаторов III габарита. Намаг-

ничивающую обмотку наматывают на бак так, чтобы обеспечивался наиболее эффективный нагрев активной части, для чего до 65—70% витков располагают в нижней части бака. Однофазную обмотку наматывают в одном направлении, а при намотке фаз трехфазной обмотки направления чередуют: верхнюю часть обмотки (фазу А) и нижнюю (фазу С) наматывают в одном направлении, а среднюю часть (фазу В) — в противоположном. Способы наложения витков намагничивающей обмотки зависят от конструкции бака. Сечение провода и количество витков намагничивающей обмотки определяют расчетом, учитывая при этом возможность последующего увеличения или сокращения количества витков в процессе сушки.

Для нагрева стенок бака удельную мощность принимают равной 1,5—2 кВт/м^2, а для нагрева днища электропечами — 2,5—3 кВт/м^2.

Режим сушки активной части в собственном баке трансформатора методом индукционных потерь в стали бака приведен в табл. 13.

Таблица 13. **Режим сушки изоляции активной части трансформатора методом индукционных потерь в стали бака**

Последовательность и наименование операций	Температура, град		Продолжительность операций, ч
	стенок бака	воздуха в баке	
1. Равномерное повышение температуры стенок бака по 10—20°С в 1 ч	До 80	60	4—6
2. Включение подогрева поступающего воздуха и вентиляции	80	80	—
3. Равномерное повышение температуры в баке по 10°С в 1 ч	115—120	105	4—6
4. Снижение температуры трансформатора	50—60	50—60	1—3
5. Повышение температуры воздуха в баке и прогрев сердечника	115—120	105	3—8
6. Поддержание постоянной температуры сердечника для определения окончания процесса сушки	115—120	105	6—8
7. Постепенное снижение температуры сердечника	60—80	60—80	3—5
8. Заливка бака чистым сухим маслом	60—80	60—80	1—2
9. Охлаждение трансформатора	40—50	40—50	2—3
10. Выемка сердечника и ревизия по истечении 8—12 ч после заливки маслом	40—50	—	—

Примечания: 1. Операции, указанные в пп. 4 и 5, повторяют несколько раз в течение 10—30 ч. 2. Процесс сушки изоляции заканчивают, когда сопротивление изоляции обмоток практически не меняется в течение 6—8 ч при постоянной температуре в баке 105°С. 3. Температура сердечника в момент ревизии должна быть на 10—20°С выше температуры окружающего воздуха.

При наличии соответствующего оборудования трансформаторы сушат в калориферных или вакуумных печах.

После окончания сушки производят отделку активной части трансформатора, при которой подпрессовывают обмотку вертикальными шпильками и подтягивают гайки на прессующих шпильках верхнего и нижнего ярем магнитопровода.

После отделки активной части проверяют сопротивление изоляции обмотки, стяжных шпилек и ярмовых балок, а затем переходят к операциям второго этапа сборки трансформатора.

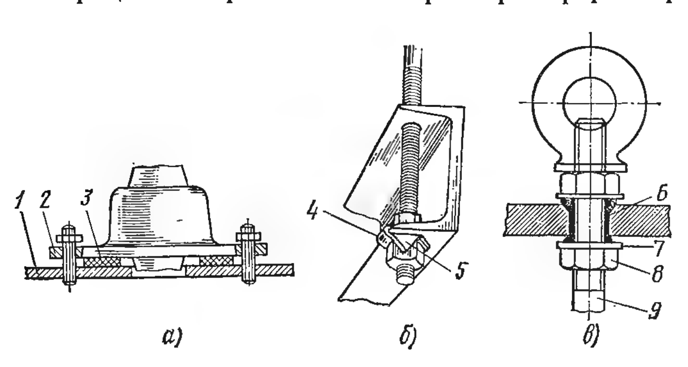


Рис. 139. Способы выполнения отдельных операций сборки трансформаторов: *а* — установка резиновой прокладки под фланец ввода, *б* — установка шайбы, предотвращающей самоотвинчивание гайки на нижнем конце подъемной шпильки, *в* — уплотнение верхнего конца подъемной шпильки в месте прохода через крышку трансформатора; *1* — крышка трансформатора, *2* — фланец ввода, *3* — прокладка из маслостойкой резины, *4* — загиб фасонной шайбы на ярмовую балку, *5* — загиб уголка шайбы на грань гайки, *6* — уплотнение из асбестового шнура, пропитанного лаком ГФ-95, *7* — круглая шайба, *8* — гайка, *9* — подъемная шпилька

При сборке трансформаторов без расширителей, вводы которых расположены на стенках бака, сначала опускают активную часть в бак, устанавливают вводы, присоединяют отводы обмоток к ним и переключателю, а затем уже устанавливают крышку на баке.

Крышки трансформаторов мощностью до 630 кВ·А устанавливают на подъемных шпильках активной части и комплектуют необходимыми деталями, а более мощных — комплектуют отдельно и в полностью собранном виде устанавливают на подъемных шпильках активной части или на баке. При этом особое внимание обращают на правильность установки уплотняющих прокладок, прочность затяжки гаек, правильность присоединения отводов к вводам и переключателям, выполнение уплотнений, исключающих течи масла.

Способы выполнения отдельных операций сборки показаны на рис. 139. При установке подъемных шпилек регулируют их длину так, чтобы выемная часть магнитопровода и крышка правильно установились на своих местах. Если шпильки окажутся короткими, то магнитопровод не достанет до дна бака и повиснет на них, если длинными — крышка не дойдет до рамы бака и между ними образуется зазор. Необходимую длину подъемных шпилек определяют деревянной рейкой. Ею промеряют глубину бака, устанав-

ливая расстояние от нижней точки опоры магнитопровода до места расположения нижней гайки с шайбой на верхнем конце шпильки. Длину шпилек регулируют путем перемещения на них гаек. Крепление шпилек к ярмовым балкам тщательно затягивают.

Выемную часть с закрепленной на ней крышкой стропят за подъемные кольца тросами, поднимают краном и медленно опуска-

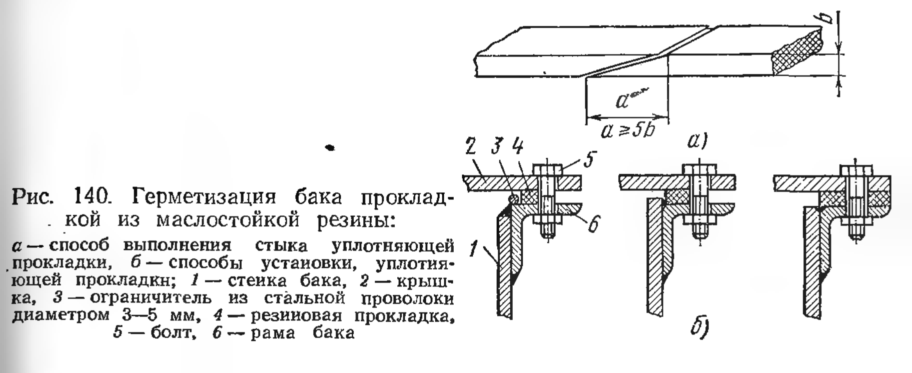


Рис. 140. Герметизация бака прокладкой из маслостойкой резины:
а — способ выполнения стыка уплотняющей прокладки, *б* — способы установки, уплотняющей прокладки; *1* — стенка бака, *2* — крышка, *3* — ограничитель из стальной проволоки диаметром 3—5 мм, *4* — резиновая прокладка, *5* — болт, *6* — рама бака

ют в бак, соблюдая при этом меры предосторожности, исключающие травмирование работающих и повреждение отдельных частей трансформатора.

Между крышкой и рамой бака устанавливают уплотняющую прокладку из маслостойкой листовой резины толщиной 6—12 мм. На концах прокладки в месте стыка делают косой срез (рис. 140, *а*). Прокладку устанавливают одним из способов, показанных на рис. 140, *б*, исключающих возможность выдавливания ее внутрь бака. При уплотнении бака трансформатора способами, изображенными на первом и втором рисунках, размеры уплотняющих прокладок берут в зависимости от размеров рамы бака.

Чтобы прокладка не сместилась при установке крышки, ее приклеивают к раме бака, предварительно обезжирив поверхность прокладки и рамы бензином.

Монтируют крышку на раме бака, равномерно затягивая болты по всему ее периметру. Затем на крышке устанавливают кронштейны, на них крепят болтами расширитель, на котором помещают маслоуказатель. На крышке крепят предохранительную трубу, предварительно проверив сохранность стеклянной диафрагмы и герметичность ее установки на конце трубы. Между нижним фланцем трубы и крышкой трансформатора помещают уплотняющую прокладку из маслостойкой резины. Далее устанавливают реле и пробивной предохранитель.

После окончания сборки трансформатора непосредственно перед заполнением его маслом еще раз проверяют мегаомметром на 1000 В электрическую прочность изоляции обмоток.

Трансформатор заполняют сухим трансформаторным маслом соответствующей электрической прочности до требуемого уровня,

определяемого отметками на маслоуказателе расширителя. Заполнив трансформатор маслом, проверяют герметичность арматуры и установленных на крышке деталей, а также отсутствие течи масла из имеющихся соединений и сварных швов.

При отсутствии дефектов, препятствующих нормальной и безопасной работе, трансформатор подвергают электрическим испытаниям. Трансформатор, подвергающийся капитальному ремонту, испытывают как в процессе ремонта, так и после него.

В процессе ремонта, изготовив новые обмотки, измеряют число витков и проверяют отсутствие в обмотке обрыва и витковых замыканий. Закончив первый этап сборки (сборка выемной части), соединяют временно обмотки по требуемой схеме и определяют коэффициент трансформации на всех ответвлениях и группу соединения обмоток, а также испытывают изоляцию стяжных шпилек. После окончательной сборки перед сушкой сердечника повторно определяют коэффициент трансформации, проверяют группу соединения обмоток, измеряют сопротивления их изоляции. Для контроля качества паек и контактов проверяют сопротивления обмоток постоянному току. В процессе сушки измеряют сопротивление изоляции, температуру и время сушки, а при сушке под вакуумом, кроме того, измеряют величину вакуума и количество выделенного конденсата.

Трансформатор, выпускаемый из ремонта, подвергается испытаниям, объем, нормы и порядок проведения которых установлены ГОСТом. Целью испытаний трансформаторов после ремонта является проверка его электрических характеристик и качества работ, выполненных в процессе ремонта.

Результаты всех испытаний заносят в протоколы, в которых указывают также приборы и методы, применявшиеся при испытаниях. Эти данные необходимы для сопоставления полученных результатов с результатами предыдущих испытаний, проведенных в различное время до данного ремонта трансформатора. Испытания выпускаемых из ремонта трансформаторов должны обязательно выполняться по всей программе и в объеме, предусмотренном действующими правилами и нормами.

Выполнив электрические испытания и убедившись в соответствии отремонтированного трансформатора действующим нормам и требованиям, проверяют наличие на нем необходимых паспортных данных и надписей, которые нередко у отремонтированных трансформаторов могут оказаться утерянными или стертыми в процессе ремонта.

На трансформаторе должна быть прикреплена табличка с указанием завода-изготовителя, а при его отсутствии — ремонтного предприятия. На табличке должны быть выбиты номер и тип трансформатора, дата изготовления (ремонта) и электрические характеристики.

На крышке или стенке бака масляного трансформатора краской наносят буквенные обозначения вводов ВН и НН.

Переключатель устанавливают в среднем положении, заверты-

вают стопорные болты на колпачке сальника привода переключателя и к колпачку приклепывают щиток: «Внимание! При пользовании переключателем смотри инструкцию».

Заземляющий контакт (луженый болт диаметром М12 с двумя шайбами) устанавливают в пластину, приваренную к стенке бака. Наносят четкую несмываемую надпись «Земля» или условный знак заземления.

Предохранитель устанавливают на крышке или стенке бака масляного трансформатора с напряжением обмотки НН 0,69 кВ. При напряжении обмотки НН 0,23 и 0,4 кВ предохранитель устанавливают только по требованию заказчика.

Воздухоосушитель с масляным затвором (рис. 141) заряжают силикагелем и в затвор заливают трансформаторное масло.

На стенку расширителя со стороны маслоуказателя наносят по трафарету три контрольные черты, соответствующие уровню масла в неработающем трансформаторе при температурах масла —45, +15 и +40°С.

На стенке бака со съемными радиаторами наносят по трафарету следующие надписи: «Кран не открывать без снятия заглушек» и «При заливке трансформатора маслом выпустить воздух из радиаторов, отвернув в них верхние пробки».

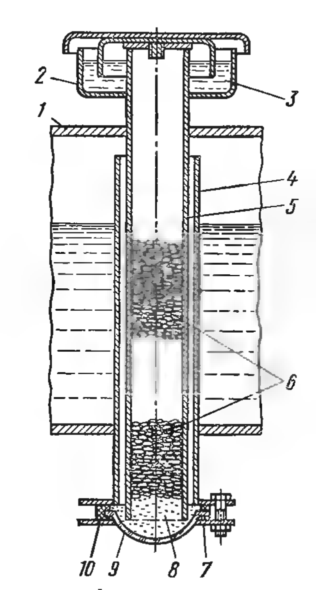


Рис. 141. Воздухоосушитель:

1 — цилиндр расширителя, *2* — масляный затвор, *3* — масло, *4* — наружная труба с фланцем, *5* — внутренняя труба, *6* — силикагель гранулированный, *7* — фланец, *8* — силикагель — индикатор, *9* — колпак из оргстекла, *10* — резиновая прокладка

Токопроводящие части вводов, болт заземления и заводскую табличку подвергают консервации смазкой УН-10 (техническим вазелином). Верхнюю часть гильзы для термометра или термосигнализатора закрывают деревянной пробкой. Все места бака и крышки, где повреждена краска, подкрашивают. Все краны и пробки для взятия пробы масла и спуска масла из бака и расширителя пломбируют.

Выполнение вышеперечисленных работ контролирует ОТК, и только после соответствующего оформления приемки трансформатор может быть признан годным к эксплуатации.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об изготовлении изоляционных деталей при ремонте трансформаторов.
2. Каков порядок намотки многослойной цилиндрической обмотки?
3 Какова особенность изолировки крайних витков цилиндрической обмотки?
4. Расскажите об особенностях намотки непрерывной обмотки.
5. Каковы особенности намотки винтовых обмоток?

6. Как выполняются отводы обмоток?
7. Зачем нужны сушка, пропитка и запекание обмоток трансформатора?
8. Расскажите об особенностях ремонта обмоток измерительных трансформаторов.
9. Каков порядок разборки и сборки трансформаторов?

ГЛАВА IX
ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 48. Подготовка к ремонту обмотки

В настоящей главе приводятся описания способов ремонта статоров, роторов, а также полюсных катушек путем полного демонтажа поврежденных обмоток и замены их новыми. Многолетняя практика эксплуатации отремонтированных электрических машин с частично отремонтированными обмотками, особенно всыпными, показала, что такие машины довольно быстро вновь выходят из строя. Вызвано это обычно нарушением во время ремонта целости изоляции неповрежденной ранее части обмотки, которая ремонту не подвергалась, а также несоответствием качества и сроков службы новой и старой изоляции. Поэтому наиболее целесообразно при ремонте электрических машин с поврежденной обмоткой заменять всю ее обмотку. Лишь в некоторых случаях, при ремонте достаточно крупных машин с обмотками, выполненными из провода прямоугольного сечения, ремонт такой обмотки выполняется путем замены поврежденных катушек.

На специализированных электроремонтных заводах и в крупных электроремонтных цехах имеются инженерно-технические работники, в обязанности которых входит составление технической документации, необходимой при ремонте обмоток электрических машин, и эта документация поступает в готовом виде к рабочим, специализирующимся на выполнении определенных технологических операций. В отличие от этого в условиях небольших электроремонтных цехов, участков и мастерских электромонтер-обмотчик и изолировщик зачастую должен сам выполнять весь комплекс работ по ремонту обмотки электрической машины. В этом случае перед началом ремонта ему необходимо составить схему обмотки и обмоточную записку, в которой должны быть указаны тип электрической машины, ее мощность, номинальное напряжение, частота вращения ротора, тип и конструктивные особенности обмотки, число витков катушки (секции) и число проводов в каждом витке, марка и диаметр обмоточного провода, шаг обмотки, число параллельных ветвей, число катушек в группе, порядок чередования катушек, класс изоляции (по нагревостойкости), а также другие сведения, относящиеся к конструкции и способу изготовления обмотки.

Для составления схемы обмотки и обмоточной записки следует пользоваться типовыми альбомами, справочниками, катало-

гами, а также данными, получаемыми при демонтаже обмотки ремонтируемой машины.

При ремонте электрических машин старых конструкций необходимо до начала демонтажа обмотки по возможности снять с натуры все обмоточные данные (диаметр и марку провода, количество проводов в пазу, шаг обмотки по пазам и др.), а также сделать эскизы лобовых частей и замаркировать пазы. Эти исходные данные могут оказаться единственными при восстановлении обмотки, так как в справочной литературе сведения о конструкции машин очень старых выпусков найти весьма сложно.

Если нет данных о прежней обмотке ремонтируемой машины или необходимо изменить ее обмотку при ремонте (выполнить обмотку на другое число полюсов и т. п.), то возникает потребность рассчитать основные обмоточные данные, что может быть осуществлено на основе сведений, приведенных в гл. XII. Кроме того, в этих случаях требуется определить расчетным путем некоторые конструктивные размеры элементов обмотки.

Для наиболее распространенных всыпных двухслойных обмоток длина (мм) лобовой части катушки (секции) может быть приближенно определена по формуле $l_л = KT + 20$, где T — средняя ширина (мм) катушки (секции) по пазам; K — коэффициент, величина которого приведена в табл. 14.

Таблица 14. **Значение коэффициента K в формуле по определению длины лобовой части всыпной двухслойной обмотки**

Число полюсов	Величина K при		Число полюсов	Величина K при	
	лобовой части, не обмотанной лентой	лобовой части, обмотанной лентой		лобовой части, не обмотанной лентой	лобовой части, обмотанной лентой
2	1,2	1,45	6	1,4	1,75
4	1,3	1,55	8 и более	1,5	1,90

Средняя ширина катушки (секции) по пазам T определяется по дуге окружности, проходящей через середины этих пазов и имеющей диаметр, равный для статора сумме внутреннего диаметра D_i и высоты паза $h_п$, а для ротора — разности наружного диаметра D_i и высоты паза $h_п$, т. е. $T = \pi(D_i \pm h_п)y/Z$, где y — шаг обмотки по пазам; Z — общее число пазов сердечника.

Для однослойной обмотки длину лобовой части можно определить по приближенной формуле $l_л \approx 1{,}4\tau + \sigma$, где τ — полюсное деление; σ — размер, зависящий от величины машины и принимаемый равным от 20 до 50 мм.

Полная длина среднего витка катушки (секции) $l_в = 2(l + l_л)$, где l — длина паза, определяемая путем измерения сердечника.

Нередко при ремонте обмоток приходится заменять отсутствующие провода требуемых марок и сечений имеющимися в наличии

проводами. По этим же причинам намотку катушки одним проводом заменяют намоткой двумя и более параллельными проводами, суммарное сечение которых эквивалентно требуемому. При замене проводов обмоток ремонтируемых машин предварительно, до намотки катушек, проверяют коэффициент заполнения паза $K_{з.п}$ по формуле $K_{з.п}=nd_{и}^{2}/(S_{п}-S_{и})$, где n — общее число проводников в пазу; $d_{и}$ — диаметр изолированного провода, мм; $S_{и}$ — суммарная площадь сечения изоляционных материалов в пазу (прокладок, пазовой коробочки и клина), мм^2; $S_{п}$ — площадь сечения паза, мм^2.

Коэффициент заполнения паза должен быть в пределах 0,7—0,75. При коэффициенте более 0,75 будет затруднена укладка проводов обмотки в пазы, а менее 0,7 — провода разместятся в пазах неплотно, и, что особенно важно, машина будет недоиспользована.

Одним из важных моментов подготовки к ремонту обмотки является проверка наличия в нужном количестве требуемых обмоточных проводов, изоляционных и других материалов, а также инструментов, приспособлений, устройств, приборов.

До укладки в сердечник ремонтируемой машины новой обмотки необходимо прежде всего удалить старую, вышедшую из строя. При выемке старой обмотки для облегчения ее удаления из пазов статоры, роторы и якоря машин после их наружной очистки и продувки сжатым воздухом помещают в электропечь, где поддерживается температура около 350°С. Сердечники со старой обмоткой выдерживают в печи 4—6 ч, после чего клинья, пазовая и витковая изоляция теряют свою механическую прочность и обмотка легко, по частям, извлекается из пазов. При отсутствии электропечи допускается выжигание изоляции путем нагрева обмотки током от низковольтного трансформатора. При этом необходимо контролировать температуру активной стали, не допуская ее нагрева свыше 350°С.

Применяют также разрушение изоляции старой обмотки химическим способом, погружая сердечники с обмоткой в ванну со специальными растворами. Сердечники с обмоткой выдерживают в ванне до тех пор, пока изоляция старой обмотки разрушится и обмотка может быть легко, по частям, извлечена из пазов. После этого сердечники с обмоткой следует тщательно промыть проточной водой и лишь затем приступать к извлечению обмотки.

В случаях когда не предполагается повторное использование обмоточного провода старой обмотки, лобовые части ее катушек обрезают ножовкой, на токарном станке или обрубают зубилом.

После удаления старой обмотки статоры, роторы и якоря крупных машин очищают от грязи и масла двух-, трехкратной промывкой и протиркой тряпками. Статоры и роторы малых и средних машин подвергают мойке в ванне с 2—3%-ным раствором кальцинированной соды (в течение 10—15 мин), а затем промывают в проточной горячей воде. На крупных ремонтных предприятиях применяются специальные моечные машины.

Для демонтажа стержневых обмоток якорей и фазных роторов после их наружной очистки и продувки сжатым воздухом распаивают и разматывают бандажи, распаивают и снимают хомутики, соединяющие концы (головки) стержней, отгибают лобовые части стержней верхнего слоя обмотки, маркируют стержни и пазы, удаляют стержни верхнего слоя, а затем отгибают лобовые части, маркируют и удаляют стержни нижнего слоя обмотки.

Размотку бандажей производят так, чтобы проволока могла быть снова использована. Ее сматывают на деревянный барабан, не допуская перехлестывания и образования барашков. Чтобы очистить проволоку от наплывов припоя, ее нагревают и протирают тряпкой с канифолью.

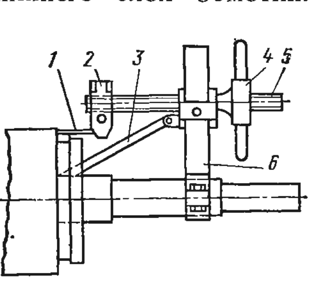


Рис. 142. Приспособление для вытягивания стержней из пазов

Медные стержни обмотки также используются повторно, поэтому с ними следует обращаться осторожно. Хомутики распаивают паяльной лампой или электродуговым паяльником. Снятые хомутики осматривают и решают вопрос об их повторном использовании. Затем концы стержней очищают от наплывов припоя, иначе их трудно будет вытащить из пазов. После этого приступают к разгибанию лобовых частей с одной стороны сердечника. При разгибании нельзя сразу выпрямить лобовую часть первого стержня, так как рядом с ним находятся лобовые части других стержней. Поэтому первый стержень разгибают лишь настолько, насколько позволяет расстояние между стержнями. Второй стержень может быть разогнут уже на двойное расстояние, третий — на тройное и т. д. Так обходят окружность сердечника до тех пор, пока лобовые части не станут прямыми.

Для вытаскивания стержней из пазов применяют специальные приспособления. На шейке вала, обернутой картоном, устанавливают и закрепляют болтами хомут *6* приспособления (рис. 142). Распорка *3* служит для того, чтобы приспособление не сдвигалось вдоль вала. Конец стержня *1* закрепляют в зажиме *2* и начинают вращать рукоятку гайки *4*. При этом винт *5* движется поступательно и тянет за собой стержень. Винт соединен с хомутом шпонкой, что предохраняет его от проворачивания. Вытащив из пазов все стержни, следует осмотреть сердечник, так как при разборке могут быть погнуты зубцы.

Вынутые стержни очищают от старой изоляции, затем отжигают, так как при гибке медные стержни становятся хрупкими и при повторном загибании могут образоваться трещины. Для отжига стержни нагревают до 400—450°С и охлаждают в воде. Далее стержни очищают от окалины, внимательно осматривают, а затем исправные стержни рихтуют. Поврежденные стержни желательно заменить новыми. Если отсутствуют провода соответствую-

щего размера, трещины в стержнях запаивают серебряным или твердым припоем. Мелкие повреждения, подгоревшие места, если они не превышают 5% сечения стержня, можно заплавлять мягким припоем, чтобы предупредить повреждение изоляции краями углублений на стержне.

После удаления из пазов сердечника старой обмотки сердечник тщательно очищают, промывают и продувают сжатым воздухом. Затем проверяют запрессовку сердечника, отсутствие выступающих листов в пазах и отсутствие заусенцев, чистоту вентиляционных каналов. При необходимости зубцы сердечника выравнивают, снимают заусенцы, производят опиловку выступающих пластин в шлице и внутри паза, после чего сердечник вторично тщательно очищают, промывают, протирают и продувают сжатым воздухом.

Подготовленные указанными способами статоры, роторы и якоря поступают для укладки в них новой обмотки.

§ 49. Всыпные обмотки статоров машин переменного тока

Конструкция обмотки зависит от мощности и напряжения машины, формы пазов ее сердечника, принятой схемы обмотки.

Все провода обмотки изолированы друг от друга и корпуса машины. Роль витковой изоляции в обмотках, выполняемых из изолированных обмоточных проводов, играет изоляция самого

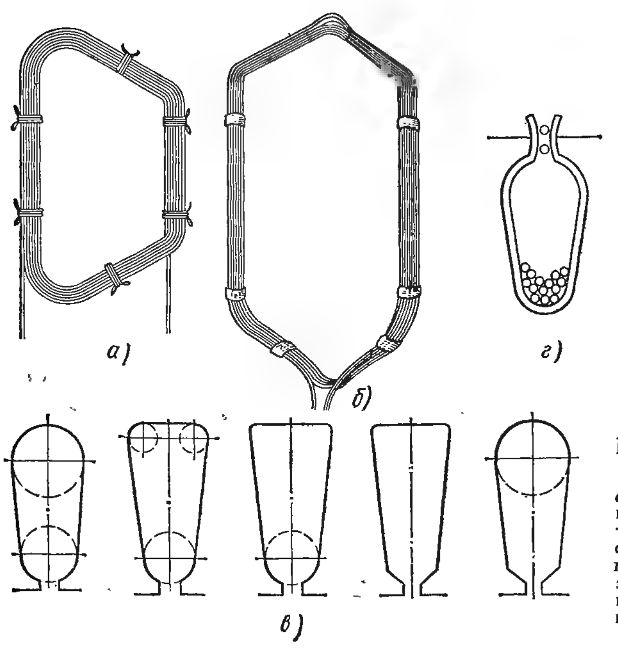


Рис. 143. Катушки и пазы всыпных обмоток:
а — катушка однослойной всыпной обмотки, *б* — катушка двухслойной всыпной обмотки, *в* — различные формы трапецеидальных полузакрытых пазов для всыпных обмоток, *г* — укладка проводов всыпной обмотки в паз

провода. Конструкция корпусной (пазовой) изоляции может быть разной, в зависимости от формы паза и напряжения обмотки. Чаще всего это пазовая коробочка из изоляционного материала, вставленная в паз.

В статорах асинхронных электродвигателей и синхронных генераторов мощностью до 100 кВт при напряжении до 660 В, составляющих основную массу ремонтируемых машин, наиболее широкое применение получили всыпные обмотки, состоящие из мягких катушек (секций), намотанных изолированным обмоточным проводом круглого сечения (рис. 143, *а*, *б*).

Сердечники, рассчитанные на такие обмотки, имеют, как правило, полузакрытые пазы трапецеидальной формы (рис. 143, *в*). Проводники секций по одному закладываются (всыпаются) в пазы статора через их щели (шлицы). Диаметр провода, из которого выполнена обмотка, должен быть таким, чтобы он свободно проходил через шлиц с учетом «выпущенной» пазовой изоляции (рис. 143, *г*).

Чтобы не затруднять выполнение обмотки, катушки должны быть достаточно мягкими, поэтому здесь редко применяют медный провод с диаметром, большим 1,81 мм, и алюминиевый провод с диаметром, большим 2,26 мм. Если же обмотка должна иметь большее сечение, то ее наматывают из 2—3 (иногда до 12) параллельных проводов меньшего диаметра, спаянных обычно в начале и конце катушечной группы.

Мягкие катушки всыпных обмоток наматывают на шаблоне. Если обмотка состоит из нескольких параллельных проводов, то намотку ведут сразу с нескольких барабанов (бобин) обмоточного провода. Обычно сразу наматывают всю катушечную группу, не обрывая провода, что исключает необходимость соединять катушки в катушечные группы после укладки обмотки в пазы и существенно упрощает монтаж схемы. Для намотки катушечной группы используют шаблоны с соответствующим количеством желобков (для каждой катушки — свой желобок). В машинах малой мощности иногда непрерывным проводом наматывают всю фазу обмотки, состоящую из нескольких катушечных групп. Станки и шаблоны для намотки катушек всыпных обмоток описаны в гл. VI и показаны на рис. 83 и 84.

Корпусная изоляция всыпных обмоток обычно состоит из изоляционных материалов, покрывающих паз в один или несколько слоев и образующих так называемую пазовую коробочку U-образного сечения. Пазовые коробочки (гильзы) вставляются в пазы перед укладкой катушек и служат также для защиты изоляции проводов от механических повреждений при их укладке и во время эксплуатации машины. Материал пазовых гильз выбирается в зависимости от условий эксплуатации машины и требуемого класса нагревостойкости. Так, например, при классе нагревостойкости А применяют электрокартон и лакоткань, при классе В — гибкий миканит и стеклолакоткань и т. д. В табл. 15 и 16 даны примеры выполнения изоляции всыпных однослойных и двухслойных

Таблица 15. **Пазовая изоляция однослойной статорной всыпной обмотки для машин старых конструкций на напряжение до 660 В**

Позиция на рис. 144, *а*	Материал		Количество слоев		Толщина изоляции, мм	
	наименование	толщина, мм	по ширине	по высоте	по ширине	по высоте
	Класс А, нормальное исполнение					
1	Стеклолакоткань	0,2	2	2	0,4	0,4
2	Электрокартон ЭВ	0,2	2	2	0,4	0,4
3	Электрокартон ЭВ	0,5	—	1	—	0,5
4	Клин (бук, береза)	Не менее 2,5	—	1	—	—
	Всего на паз без клина				0,8	1,3
	Класс Е, нормальное исполнение					
1	Пленкоэлектрокартон	0,27	2	2	0,54	0,54
2	—	—	—	—	—	—
3	Пленкоэлектрокартон	0,27	—	1	—	0,27
4	Клин (текстолит)	Не менее 2,5	—	1	—	—
	Всего на паз без клина				0,54	0,81
	Классы В, F и Н, все исполнения					
1	Стеклолакоткань	0,15	2	2	0,3	0,3
2	Гибкий стекломиканит	0,3	2	2	0,6	0,6
3	Стеклотекстолит	0,5	—	1	—	0,5
4	Клин (стеклотекстолит)	Не менее 2,5	—	1	—	—
	Всего на паз без клина				0,9	1,5

обмоток в машинах старых конструкций, а в табл. 17 и 18 — в машинах современных конструкций (рис. 144, *а—е*).

При ремонте всыпных статорных обмоток, имеющих класс нагревостойкости А, очень часто применяют пазовую коробочку (рис. 144, *г*), состоящую из двух полос электрокартона *15* и *17* и одной полоски лакоткани *16* между ними. Между слоями обмотки в пазах и под деревянный клин *19* (рис. 144, *д*) кладут прокладки *18*. Внешняя полоска электрокартона должна защищать лакоткань от повреждений стенками паза, внутренняя — от смятия проводами обмотки, а также предохранять изоляцию проводов при их «засыпке» в паз от повреждения кромками зубцов.

Таблица 16. **Изоляция двухслойной статорной всыпной обмотки для машин старых конструкций на напряжение до 660 В**

Часть обмотки	Позиция на рис. 144, б, в	Материал: наименование	Материал: толщина, мм	Количество слоев: по ширине	Количество слоев: по высоте	Толщина изоляции, мм: по ширине	Толщина изоляции, мм: по высоте
Класс А							
Пазовая (рис. 144, *б*)	10	Электрокартон ЭВ	0,2	2	3	0,4	0,6
	9	Эскапоновая стекло-лакоткань	0,2	2	3	0,4	0,6
	8	Электрокартон ЭВ	0,2	2	3	0,4	0,6
	7	То же	0,5	—	1	—	0,5
	6	» »	0,5	—	1	—	0,5
	5	Клин (бук, береза)	Не менее 2,5	—	1	—	—
Всего на паз без клина						1,2	2,8
Лобовая (рис. 144, *в*)	13	Электрокартон ЭВ	0,5	—	1	—	0,5
	11	Лента тафтяная	0,25	Один слой вполнахлеста		—	1,0
	14	Чулок хлопчатобумажный	—	—	—	—	—
	12	Эскапоновая стекло-лакоткань	0,25	Один слой вполнахлеста		—	0,8
Класс Е							
Пазовая (рис. 144, *б*)	10	Пленкоэлектрокартон	0,27	2	3	0,54	0,81
	9	Электрокартон ЭВ	0,27	2	3	0,54	0,81
	8	То же	—	—	—	—	—
	7	Пленкоэлектрокартон	0,27	—	2	—	0,54
	6	То же	0,27	—	1	—	0,27
	5	Клин из бука или березы	Не менее 2,5	—	1	—	—
Всего на паз без клина						1,08	2,43
Лобовая (рис. 144, *в*)	13	Пленкоэлектрокартон	0,27	—	2	—	0,54
	11	Лента стеклянная	0,1	Один слой вполнахлеста		0,4	0,4
	14	Чулок стеклянный	—	—	—	—	—
	12	Стеклолакоткань	0,2	Один слой вполнахлеста		0,4	0 4

Таблица 17. **Изоляция однослойных статорных всыпных обмоток современных машин мощностью 1—7 кВт**

Позиция на рис. 144, *а*	Изоляция класса А, нормальное исполнение		Изоляция класса Е, нормальное исполнение	
	материал	толщина, мм	материал	толщина, мм
2	Стеклолакоткань ЛСЛ-105/120	0,2	Пленкоэлектрокартон	0,27
1	Электрокартон ЭВ	0,2	—	—
3	То же	0,5	Пленкоэлектрокартон	0,27
4	Клин из бука или березы	Не менее 2,5	Клин из текстолита марки В	Не менее 2,5

Продолжение табл. 17

Позиция на рис. 144, *а*	Изоляция классов В, F и Н, все исполнения				
	материал	марка материала при классе			Толщина, мм
		В	F	Н	
2	Стеклолакоткань	ЛСБ-120/130	ЛСП-130/155	ЛСП-130/155	0,15
1	Гибкий стекломиканит*	$Г_2ФГ11$	$Г_2ФЭ11$	$Г_2ФК11$	0,3
3	Стеклотекстолит	СТ	СТЭФ	СТК	0,5
4	Клин из стеклотекстолита	СТ	СТЭФ	СТК	Не менее 2,5

* Для машин нормального исполнения допускается применять гибкие слюдиниты марки $Г_2СП$ при классе нагревостойкости В и марки $Г_2СК$ при классе F.

Примечание. Изоляция в лобовых частях между катушками — пленкоэлектрокартон при классах нагревостойкости А и Е и лакостекломиканит соответствующей марки при классах F и Н. Вязка соединений схемы обмотки — тафтяной лентой толщиной 0,25 мм при классе нагревостойкости А, стеклянной лентой ЛЭС толщиной 0,1 мм или стеклочулком АСЭЧ при классах В, F и Н.

Поэтому внутреннюю полоску электрокартона делают более широкой и края ее выпускают из паза. Эти края приходится срезать после укладки обмотки. Если внутренняя полоска изоляции и после обрезки остается шире других, то при заклинивании пазов она может создавать складки внутри паза. Для устранения этого теперь зачастую все три полоски изоляции делают одинаковой ширины, а в процессе укладки обмотки в паз вставляют дополнительные вкладыши *20* (рис. 144, *е*) из электрокартона, предохраняющие изоляцию проводов от повреждения. После укладки всех проводов в паз вкладыши вытаскивают и вставляют в следующий паз.

Недостатками трехслойной пазовой изоляционной гильзы (ко-

Таблица 18. **Изоляция двухслойных статорных всыпных обмоток современных машин мощностью 10—100 кВт**

Позиция на рис. 144, б	Изоляция класса E, нормальное исполнение		Изоляция класса B, нормальное исполнение	
	материал	толщина, мм	материал	толщина, мм
8	Пленкоэлектрокартон	0,27	Электрокартон ЭВ	0,2
9	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,17	Гибкий слюдинит $Г_2СП$	0,2
10	—	—	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,17
7	Пленкоэлектрокартон	0,27	Лакостеклослюдопласт	0,45
6	То же	0,27	Стеклотекстолит СТ	0,5
5	Клин из бука или березы	Не менее 3,0	Клин из стеклотекстолита СТ	Не менее 2,5

Продолжение табл. 18

Позиция на рис. 144, б	Изоляция класса F, нормальное исполнение		Изоляция класса F, тропическое исполнение	
	материал	толщина, мм	материал	толщина, мм
8	Электронит	0,2	Стеклолакоткань ЛСК-155/180	0,15
9	Гибкий стекломиканит $Г_2ФГ11$	0,35	Гибкий стекломиканит $Г_2ФК11$	0,35
10	Стеклолакоткань ЛСП-130/155	0,15	Стеклолакоткань ЛСК-155/180	0,15
7	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостекломиканит	0,5
6	Стеклотекстолит СТЭФ	0,5	Стеклотекстолит СТК	0,5
5	Клин из стеклотекстолита СТЭФ	Не менее 2,5	То же	Не менее 2,5

робочки) являются ее большая толщина (0,6—0,65 мм), а также наличие воздуха между слоями, что существенно ухудшает теплоотдачу обмотки. Применение пленкоэлектрокартона устраняет эти недостатки.

Нажимные шайбы статора изолируют несколькими полосками электрокартона, подбирая их количество и толщину так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовых гильз, предохраняя их от разрывов при отгибании лобовых частей обмотки. Выступающие из паза края гильз укрепляют путем их отбортовки (отгибают края и образуют «манжеты»), или надевая на них штампованные фибровые гребенки.

У всыпных обмоток между лобовыми частями катушек одной

и той же катушечной группы дополнительных изоляционных прокладок обычно не ставят, а между катушечными группами ставят специальные прокладки из того же материала, что и для пазовых коробочек. Такие прокладки нужны, так как соседние катушечные группы обмотки принадлежат разным фазам и между ними действует линейное напряжение.

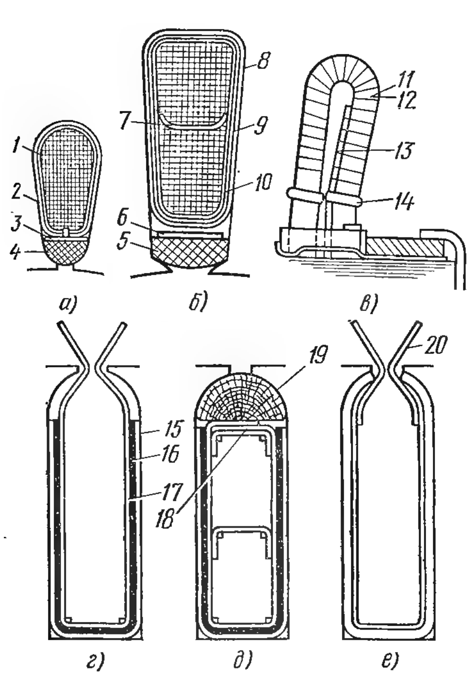


Рис. 144. Изоляция всыпных обмоток:

а — паз одиослойной всыпной обмотки, *б* — паз двухслойной всыпной обмотки, *в* — лобовая часть катушки двухслойной всыпной обмотки, *г* — трехслойная пазовая коробочка с выпущенным из шлица слоем электрокартона, *д* — вид трехслойной пазовой изоляции после обрезки слоя электрокартона и установки клина, *е* — использоваиие дополнительных вкладышей из электрокартона для укладки всыпной обмотки в полузакрытый паз

Использование активных материалов машины, т. е. стали магнитопроводов и меди (алюминия) обмоток, в значительной мере зависит от того, насколько плотно удается заполнить пазы проводниковым материалом. Чем больше это заполнение, тем (при прочих равных условиях) лучше использована машина, т. е. тем большую мощность она может развить. У всыпных обмоток значительную часть паза занимает не только корпусная изоляция, но и межвитковая, т. е. изоляция самих проводов. Раньше, когда прочность изоляционных эмалей была недостаточной, во всыпных обмотках часто применялись обмоточные провода с комбинированной эмалево-волокнистой изоляцией, например провода марки ПЭЛБО. В настоящее время здесь используются почти исключительно провода с эмалевым покрытием (ПЭВ-2, ПЭТВ и др.), что позволяет существенно улучшить заполнение паза.

Лобовые части всыпных обмоток статоров машин небольшой и средней мощности особых креплений не требуют, так как обычное увязывание их тафтяной, миткалевой, киперной, стеклотканевой лентой или прочным пеньковым шнуром оказывается вполне

достаточным, чтобы противостоять механическим усилиям, возникающим, например, при прохождении токов короткого замыкания. В более крупных машинах применяют специальные детали для крепления лобовых частей обмотки, например гетинаксовые планки, деревянные распорки.

Пазовые части обмоток крепятся, как уже отмечалось, с помощью пазовых клиньев, изготовленных из древесины твердых пород (бук, береза), текстолита или гетинакса.

Ремонт всыпных обмоток может быть разбит на следующие основные этапы: заготовка и укладка изоляционных деталей, намотка катушек, укладка обмотки, пайка и изолировка соединений, сушка, пропитка и испытание обмотки.

Материалы, из которых изготовляют изоляционные детали, должны быть соответствующим образом подготовлены. Электрокартон, пленкоэлектрокартон и лакоткань, поставляемые обычно в виде больших тяжелых рулонов, перематывают в рулоны меньших размеров массой 10—15 кг. Электрокартон просушивают в вертикальном положении в сушильной печи в течение 1—2 ч при температуре 90—95°С, затем в горячем виде пропитывают льняным маслом или натуральной олифой и вновь сушат в печи при указанной температуре в течение 3—4 ч. Сушить электрокартон после пропитки можно и на воздухе при комнатной температуре, но в этом случае сушка должна длиться 24—36 ч. При сушке как в печи, так и на воздухе рулон электрокартона должен стоять вертикально и быть распущен так, чтобы между отдельными витками был зазор 2—3 мм.

Раскрой изоляционных материалов следует выбрать таким, чтобы отходы были минимальными.

Заготовки для пазовых коробочек и других деталей режут рычажными ножницами, имеющими ограничительные и прижимные планки. Электрокартон режут таким образом, чтобы направление его волокон в уложенных в паз коробочках совпадало с продольной осью машины.

При определении длины заготовок для пазовых коробочек следует учитывать, что на концах коробочек должны быть отогнуты манжеты, а концы пазовых коробочек должны выступать из паза с обеих сторон сердечника на 8—20 мм (в зависимости от размера машины).

Манжеты (отвороты), которые делаются на выступающих из паза концах пазовых коробочек и предназначены для их упрочнения в этих местах с тем, чтобы избежать разрывов при укладке обмотки, могут быть выполнены по одному из вариантов, показанных на рис. 145, *а*, *б*.

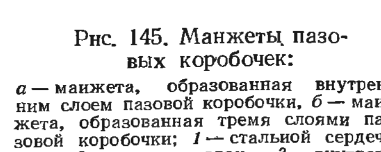


Рис. 145. Манжеты пазовых коробочек:

а — манжета, образованная внутренним слоем пазовой коробочки, *б* — манжета, образованная тремя слоями пазовой коробочки; *1* — стальной сердечник, *2* — электрокартон, *3* — внутренний слой лакоткани или миканита

Более надежна трехслойная манжета (рис. 145, *б*), применяют ее обычно в тех статорах, где нет опорных изоляционных колец на торцах стали сердечника или где нельзя изолировать нажимные шайбы статора так, чтобы их изоляция была опорой для концов пазовых коробочек. Однако трехслойная манжета занимает больше места, чем выполненная по рис. 145, *а* двухслойная.

Таблица 19. **Примерная длина вылета пазовой коробочки из паза для машин разной мощности**

Мощность машины, кВт	Длина вылета пазовой коробочки, мм	
	при двухслойной манжете (рис. 145, *а*)	при трехслойной манжете (рис. 145, *б*)
До 5	10	8
От 5 до 40	15	12
» 40 » 100	20	15

При определении длины заготовок для коробочек можно пользоваться данными табл. 19, в которой дана примерная длина вылета пазовой коробочки из паза для машин разной мощности.

Для изготовления пазовых коробочек сложенные слои заготовок обжимают в опрессовочном приспособлении, чтобы придать им нужную форму. При необходимости отдельные слои заготовок склеивают.

Для более быстрого изготовления манжет применяют различные простые приспособления, одно из которых показано на рис. 146. Раскроенные и сложенные вместе заготовки пазовой коробочки вкладывают до упора в подвижную пластинку, установленную по длине манжеты, и поворотом заготовок на 180° придают им должную форму.

Рис. 146. Приспособление для отбортовки манжеты пазовой коробочки:
1 — нижняя плита, *2* — верхняя плита, *3* — прокладки, *4* — заготовка

Далее заготовки пазовых коробочек обжимают на оправке и укладывают в пазы статора, расправляя их при этом деревянной оправкой так, чтобы они плотно облегали паз. Форма оправки должна соответствовать форме паза с размерами меньше на толщину пазовой изоляции. Вылеты коробочек с обеих сторон статора должны быть одинаковыми.

Нажимные шайбы и крайние листы сердечника статора изолируют полосками электрокартона, которые подклеиваются изоляционным лаком или прикрепляются окантовочными нитками. Толщину и количество полосок электрокартона следует подбирать так, чтобы они могли служить опорой выходящим из паза концам пазовых коробочек, предохраняя их от разрыва при отгибании лобовых частей обмоток.

К началу ремонта обмотки должны быть заготовлены прокладки под клин, прокладки между слоями обмотки в пазу (для двухслойных обмоток), междуфазные прокладки для лобовых частей, линоксиновые трубки для изолировки мест соединения проводов,

изолировки внутримашинных соединений и выводных концов, а также пазовые клинья.

Укладываемые в пазу прокладки под клин, а также прокладки между слоями двухслойной обмотки должны быть шире паза в соответствующем месте с тем, чтобы прокладки в пазу ложились в виде скобочки, т. е. со скосами по краям. Размер междуфазных прокладок в лобовых частях по ширине определяется шагом обмотки, а по длине — вылетом лобовых частей.

Пазовые клинья изготовляют из древесины твердых пород (бук, береза, клен) обычно на специальном станке, например на станке СПК-5. Форма клина, его толщина и ширина зависят от формы верхней части паза и его заполнения. Деревянные клинья должны иметь толщину не менее 2 мм. Длина клина должна быть больше длины сердечника статора и равна или на 2—4 мм меньше длины пазовой коробочки. Влажность древесины, из которой изготовляются клинья, не должна превышать 10—12%. Для придания деревянным клиньям повышенных электроизоляционных свойств и замедления процесса поглощения ими влаги клинья пропитывают олифой или льняным маслом. Для пропитки клинья погружают в бачок, заполняют его льняным маслом или натуральной олифой на 20—30 мм выше уровня заложенных деталей, нагревают бачок до 105—110°С и при такой температуре проводят пропитку в течение 2—3 ч. Качество пропитки контролируется по виду излома пробной детали: если не все сечение клиньев пропитано маслом, то время пропитки следует продлить. По окончании пропитки бачок охлаждают, не вынимая из него клиньев. После охлаждения клинья выгружают на металлическую или деревянную решетку, а затем подсушивают в печи.

Пазовые клинья из гетинакса и текстолита (стеклотекстолита) превосходят деревянные по механической прочности, изоляционным свойствам, неподверженности усыханию, влагостойкости. Поэтому в современных машинах применяют клинья именно из этих материалов. Однако достаточно высокая стоимость и трудность механической обработки клиньев из гетинакса и текстолита ограничивают их применение в небольших электроремонтных цехах и мастерских. Тем не менее при малой толщине клиньев и достаточно большой длине приходится применять гетинаксовые или текстолитовые пазовые клинья, так как деревянные оказываются недостаточно прочными.

В машинах, имеющих изоляцию классов В, F и Н, применение деревянных или даже гетинаксовых клиньев невозможно из-за их недостаточной нагревостойкости. В этих случаях применяют клинья из стеклотекстолита марки СТЭФ или СТК.

В современных машинах небольшой мощности обмотку зачастую вместо клиньев закрепляют пазовыми крышками, выполненными в виде полосок из того же изоляционного материала, что и пазовая изоляция, но несколько большей толщины — 0,3—0,5 мм. Никаких прокладок под пазовые крышки не ставят. Пазовые крышки уплотняют обмотку в пазу слабее, чем клинья, но после-

дующие пропитка обмотки, сушка и запечка цементируют уложенные в пазах провода и увеличивают жесткость пазовых крышек.

Намотку катушек всыпных обмоток производят на шаблонах, устанавливаемых на намоточных станках с ручным или механическим приводом. Применяются самые разнообразные типы таких станков. Кроме того, для намотки катушек иногда используют токарные станки (шаблон зажимают в его патроне).

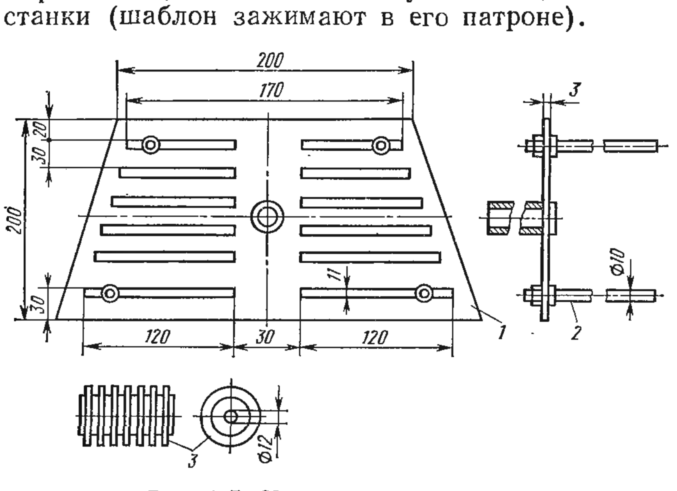


Рис. 147. Универсальный шаблон:
1 — плита, *2* — шпилька, *3* — ролик

Шаблоны для намотки катушек в ремонтной практике чаще всего используются универсальные, т. е. позволяющие изменять размер катушек. Шаблоны могут быть деревянными или металлическими (чаще всего из алюминия или его сплавов). Предпочтение следует отдать более долговечным металлическим шаблонам. В гл. VI было дано краткое описание универсальных шаблонов двух видов и процесса намотки катушек на них. Еще один вид довольно удобного универсального шаблона показан на рис. 147. Здесь изменение размеров катушек, наматываемых на ролики *3*, достигается передвижением шпилек *2* по плите *1*. Шаблон имеет несколько ручьев, что позволяет наматывать, не разрезая провод, сразу все катушки (секции) катушечной группы или даже целой фазы. Это, как уже отмечалось ранее, существенно снижает трудоемкость обмоточных работ, так как устраняет необходимость в пайке схемы, повышает надежность обмотки, поскольку уменьшается количество паек проводов, дает возможность уменьшить лобовую часть обмотки, снижает вероятность ошибок при сборке схемы.

Для правильной установки шаблона необходимо знать требуемый размер катушек. Средняя длина витка может быть приближенно определена по формуле $l_{\text{ср}}=k(D+h_{\text{п}})y/z+(2l_1+60)$, где $l_{\text{ср}}$ — средняя длина витка, мм; D — диаметр расточки статора,

мм; $h_п$ — высота паза, мм; y — шаг обмотки по пазам; z — число пазов статора; l_1 — длина сердечника статора, включая радиальные вентиляционные каналы, мм; k — коэффициент, определяемый по табл. 20.

Размеры катушки целесообразно проверять с помощью пробного витка. Имея определенный опыт, обмотчик, накладывая пробный виток, достаточно точно устанавливает требуемый размер катушки и осуществляет соответствующую настройку шаблона.

Таблица 20. **Значения коэффициента k для определения средней длины витка**

Число полюсов	Значения коэффициента k для обмотки	
	двухслойный	однослойной
2	8,2	9,2
4	8,5	9,5
6	9,1	10,2
8 и более	9,8	11,0

Универсальные многоручьевые шаблоны удобны для намотки двухслойных и однослойных равнокатушечных обмоток. Для намотки же катушечных групп однослойных концентрических обмоток используют ступенчатые шаблоны (рис. 148). Число ступеней (ручьев) такого шаблона равно числу катушек (секций) в катушечной группе. Иногда при намотке катушечных групп однослойных концентрических обмоток пользуются одноручьевыми универсальными шаблонами, сочленяя их вместе.

Перед намоткой катушек подготавливают необходимое число барабанов, бухт или бобин обмоточного провода — по количеству параллельных (элементарных) проводников витка. Концы проводников пропускают через линоксиновую или поливинилхлоридную трубку для удобного поддерживания провода при намотке, а также через зажимное устройство, регулирующее натяжение провода, и закрепляют на шаблоне начало витка (или все его проводники, если виток подразделен на элементарные проводники).

Рис. 148. Ступенчатый шаблон

При намотке катушек следует обратить внимание на то, чтобы сматывание обмоточного провода с барабана или бухты производилось без образования петель (барашков), которые часто являются причиной обмоточного брака из-за повреждения изоляции рядом расположенных проводов при уплотнении катушки в процессе ее укладки в пазы.

В шаблоне, состоящем из нескольких ручьев, наматывают первую катушку в первом ручье шаблона, затем переводят виток во второй ручей и наматывают в нем вторую катушку и так далее, пока не будет намотана вся катушечная группа. Каждую катушку в ее прямолинейной части перевязывают лентой или шпагатом, после чего снимают катушки с шаблона.

Намотку следует производить так, чтобы провода укладывались на шаблоне параллельно друг другу, без перекрещиваний. При намотке катушек, витки которых состоят из нескольких элементарных проводников, необходимо следить, чтобы натяжение проводников было одинаковым — без затянутых или выступающих отдельных проводников, что обеспечит монолитность катушки.

При обрыве провода или его окончании на бухте место соединения с другим отрезком провода следует размещать только в лобовой части, не допуская, чтобы оно попало в пазовую часть витка. После пайки или сварки провода место соединения изолируют обертыванием стеклолентой или с помощью электроизоляционной трубки.

Укладка обмотки является одной из наиболее трудоемких и ответственных операций ремонта. Перед началом укладки катушек обмотки рабочий должен еще раз внимательно изучить обмоточные данные машины, пользуясь при этом обмоточно-расчетной карточкой, форма которой приведена в табл. 21.

Таблица 21. **Обмоточно-расчетная карточка**

Ремонтный №____________

Тип электродвигателя ____

P = __________________ кВт

U = __________________ В

I = __________________ А

n = __________________ об/мин

z = __________________

Обмоточный провод: марка____________ диаметр ____________________

Число параллельных проводов ______________________ __________

Витков в катушке (секции) ________________________________

Проводников в пазу____

Шаг ____

Соединение катушечных групп (число параллельных ветвей) __________

Число групп в фазе и катушек в группе ____________________

Вид обмотки ____

Соединение фаз ____

Вылет лобовой части обмотки ______________________________

Сбмотчик ______________________________________

Дата ____

Подпись _______________________________________

В строке карточки «Соединение катушечных групп» указывается отсутствие или наличие параллельных ветвей и их количество. Например: последовательное (параллельных ветвей нет); 2 параллельные ветви; 3 параллельные ветви и т. д. В строке «Число групп в фазе и катушек в группе» указывается число катушечных групп или число катушечных полугрупп при выполнении обмотки «вразвалку» на одну фазу. Например: 6 одинарных, 3 двойных, 2 тройных, 2 одинарных и 2 двойных и т. д. В строке «Соединение фаз» указывается вид соединения фазных обмоток: $\triangle/Y$; Y; $\triangle$. К остальным строкам обмоточно-расчетной карточки пояснений не требуется.

При укладке обмотки рабочий пользуется не только обычным монтерским инструментом (плоскогубцы, круглогубцы, кусачки, стальной и деревянный молотки, нож, мерные линейки и т. д.), но также специальным набором инструментов, которые частично показаны на рис. 82. Кроме тех инструментов, которые показаны на рисунке, используются также фибровые и текстолитовые пластинки различной формы для проталкивания проводов всыпной обмотки в паз через шлиц, выравнивания проводов в пазу, отгиба лобовых частей обмотки; металлические, фибровые или текстолитовые оправки-уплотнители проводов в пазу («топорики», «утюжки», «гладилки»); пластинки с закругленными гранями для переборки проводов в витках и секциях («считалки»); проволочные крючки различной формы для протаскивания ленты при изолировке и закреплении лобовых частей; оправки для «отбивания» лобовых частей обмотки с целью придания им должной формы; ножницы разного размера и формы и т. д. Весь монтерский инструмент должен содержаться в полном порядке, не иметь зазубрин, заусениц, выбоин и других дефектов, которые могли бы повредить изоляцию обмотки.

Рабочим местом обмотчика является поворотный стол, позволяющий поворачивать стоящую на нем машину вокруг вертикальной оси (рис. 149).

Стол состоит из верхнего поворотного диска *1* и нижнего неподвижного диска *4*, прикрепленного к верстаку *8* с помощью болтов *7*. В дисках проточена кольцевая канавка, в которую заложены шарики *5*, что дает возможность легко поворачивать диск *1* вокруг оси вращения *2*. Втулка *3* служит для подачи смазки в эту ось. Фиксация положения поворотного диска по отношению к неподвижному осуществляется защелкой *6*, входящей в прорези, расположенные по периферии диска *1*. Для поворота ремонтируемой машины вокруг горизонтальной оси служит роликовое приспособление (рис. 150), устанавливаемое на поворотном столе. Поворотный стол и роликовая подставка дают возможность установить ремонтируемый статор в любом удобном для обмотчика положении.

Рассмотрим технологический процесс укладки двухслойной всыпной обмотки. Он начинается с проверки симметричности расположения пазовых коробочек. Далее катушку, подлежащую ук-

ладке, располагают над пазом, находящимся в самом низу расточки, и, пользуясь специальной фибровой пластиной из набора инструментов, проталкивают (всыпают) через шлиц в паз все проводники одной стороны катушки (секции). Во избежание перекрещивания проводников в лазу укладку их желательно производить в том же порядке, в котором эти проводники наматывались на шаблон. Поправлять проводники внутри паза следует специаль-

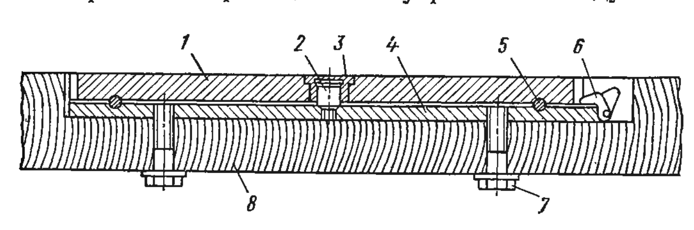


Рис. 149. Поворотный стол:
1 — поворотный диск, 2 — ось вращения, 3 — втулка, 4 — неподвижный диск, 5 — шарик, 6 — защелка, 7 — болт, 8 — верстак

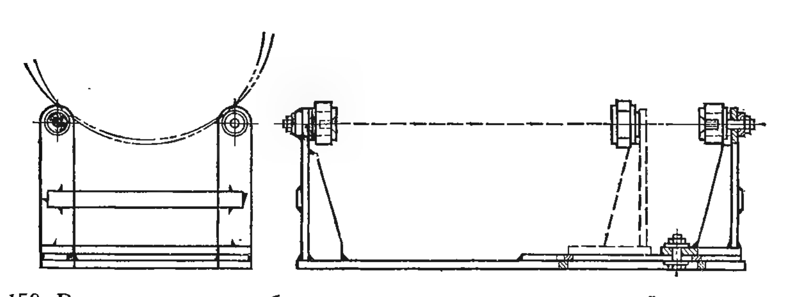


Рис. 150. Роликовое приспособление для поворота ремонтируемой машины вокруг горизонтальной оси

ной клиновидной фибровой пластинкой, проводя ею вдоль паза и устраняя перекрещивание проводов. Необходимо следить, чтобы проводники располагались внутри паза параллельно друг другу. Указанным способом, поворачивая каждый раз корпус статора на одно пазовое деление, укладывают на дно паза все остальные нижние стороны катушек первой катушечной группы. Верхние стороны катушек этой группы остаются пока не уложенными. Затем в пазы, где уложены нижние стороны катушек первой катушечной группы, закладывают междуслойные прокладки, а начало и конец катушечной группы надежно закрепляют лентой, шпагатом или «чулком» по наружному контуру головок лобовых частей крайних катушек. Выводные концы располагают параллельно проводам катушки. Так поступают со всеми катушками на протяжении первого шага обмотки (катушки первого шага).

Далее все катушки укладывают в пазы как нижними, так и верхними сторонами, причем после укладки нижних сторон катушек в пазы закладывают междуслойные прокладки, закрепляют начала и концы групп, а затем закладывают верхние стороны ка-

тушечных групп. Междуслойные прокладки, уложенные неправильно, с перекосом, не обеспечивают должную изоляцию друг от друга сторон разных катушек, уложенных в одном пазу (катушки могут принадлежать разным фазам). Более того, перекошенная междуслойная прокладка может вызвать повреждение витковой изоляции при уплотнении обмотки в пазу.

Закладка верхних сторон катушек является более сложной операцией, чем закладка нижних сторон, так как часть паза уже заполнена проводами и междуслойной прокладкой.

Перед закладкой проводов верхних сторон катушек производится уплотнение проводов в пазу. Для этого в паз с торца вставляют оправку-уплотнитель (топорик) и, продвигая его вдоль паза по междуслойной прокладке, нажатием уплотняют провода нижнего слоя. В более мощных машинах, где используются провода достаточно больших сечений, в процессе уплотнения нижнего слоя проводов по топорику-уплотнителю постукивают молотком. Если коэффициент заполнения паза велик, то уплотнять провода приходится периодически, не дожидаясь окончания «засыпки» всей катушки. При этом следует пользоваться фибровым или текстолитовым уплотнителем, а если уплотнитель металлический, то каждый раз следует подкладывать под него полоску электрокартона, так как иначе легко повредить изоляцию проводов в пазу. После того как нижний слой проводов в пазу уплотнен и осажен ко дну паза, выравниваются провода соответствующего верхнего слоя катушки и через шлиц «засыпаются» в паз. Здесь обычно уже после укладки части проводов их уплотняют, причем повторять эту операцию приходится несколько раз.

После укладки в паз всех проводов их вновь уплотняют, закрывают пазовую коробочку (предварительно обрезав, если надо, выступающие ее края), вновь уплотняют обмотку, закладывают подклиновые прокладки и заклинивают паз. При этом особо необходимо следить, чтобы при забивке клина не повредились пазовые коробочки. При забивке пазовых клиньев иногда пользуются инструментом «обратный клин» (см. рис. 82), который на время забивки вставляют со стороны, противоположной той, с которой забивается основной пазовый клин.

В процессе укладки верхних сторон катушек и заклиновки пазов в лобовых частях между катушечными группами устанавливают прокладки под первые катушки каждой группы. Эти прокладки называются *междуфазовыми* и являются изоляцией между соседними катушками, принадлежащими к разным фазам.

Форма междуфазовых прокладок должна повторять форму лобовых частей обмотки с припуском 5—7 мм по всему контуру. Эти прокладки должны перекрывать концы выступающих из пазов междуслойных прокладок.

Перед укладкой последних катушек необходимо не заложенные ранее в пазы верхние стороны катушек первого шага отогнуть к центру расточки статора, чтобы создать возможность укладки нижних сторон последних катушек.

Укладка верхних сторон катушек первого шага, которые подвергались перегибам и провода которых могут быть перепутаны между собой, требует особого внимания и достаточных производственных навыков. В частности, до укладки проводники необходимо тщательно расправить и придать им нужную форму, а саму укладку в пазы производить осторожно, следя за целостью изоляции, параллельностью и отсутствием перекрещиваний проводов в пазу.

В процессе укладки обмотки производят отгиб (отбивку) лобовых частей в направлении от внутреннего к наружному диаметру сердечника статора. Этот отгиб, величина которого составляет 6—8°, должен обеспечивать свободный ввод ротора в расточку статора.

Чтобы не повредить пазовые коробочки, отгиб лобовых частей должен начинаться на расстоянии 10—15 мм от торца пакета стали. Производится отгиб специальной пластиной, накладываемой всей своей поверхностью на лобовые части. Затем по пластине ударяют молотком. Хорошо при отгибе пользоваться специальной деревянной оправкой, имеющей форму усеченного конуса. Для проверки симметричности отгиба по окружности статора рекомендуется пользоваться шаблоном. Так как при отгибе лобовых частей катушки плотно прижимаются друг к другу и изоляция проводов может быть при этом нарушена, в местах соприкосновения катушек рекомендуется закладывать между ними дополнительные прокладки из лакоткани.

Укладка однослойных обмоток проще, чем двухслойных, так как отпадает достаточно сложная операция по подъему и последующей укладке одной стороны катушек первого шага, нет надобности в укладке внутри пазов междуслойных прокладок. В остальном процесс укладки однослойных и двухслойных всыпных обмоток одинаков.

Лобовые части всыпных обмоток увязывают и закрепляют (бандажируют) с помощью иглы шпагатом, миткалевой и тафтяной лентой.

Окончив укладку катушек в пазы статора и заклиновку обмотки, собирают схему. Если фаза обмотки намотана отдельными катушками, сборку схемы начинают с последовательного соединения катушек в катушечные группы. За начала фаз принимают выводы катушечных групп, выходящие из пазов, расположенных вблизи от колодки зажимов. Предварительную сборку схемы осуществляют, скручивая между собой зачищенные от изоляции выводы катушек, катушечных групп и фаз обмотки и слегка заизолировав места скруток, а также отогнув их от сердечника. Правильность соединения схемы может быть проверена прибором ЕЛ-1. Проверку эту можно также осуществить с помощью стального шарика от шарикоподшипника (диаметр шарика должен быть таким, чтобы он не застревал на шлицах). Обмотка статора подключается к трехфазной сети на пониженное напряжение, а на поверхность расточки статора кладут шарик. Если шарик вращается по окруж-

ности статора, то схема собрана правильно. Такую же проверку можно произвести с помощью простейшей вертушки, состоящей из диска жести, пробитого в центре и укрепленного гвоздем на деревянной рукоятке.

После проверки схемы места соединений катушек и катушечных групп соединяют пайкой или сваркой, изолируют их предварительно надетыми изоляционными трубками или стеклолакотканью. Места соединений схемы закрепляют на лобовых частях обмотки. Выводы фаз обмотки осуществляют установочным проводом соответствующих (по классу изоляции) марок и сечений. При классе нагревостойкости А выводы чаще всего выполняют проводом марки ПРГ соответствующего сечения. Далее статор с отремонтированной обмоткой поступает на пропитку и сушку.

Следует отметить, что при укладке всыпных обмоток статоров небольших машин неуложенные вначале верхние стороны катушек первого шага сильно затрудняют дальнейшую укладку двухслойной обмотки, так как при малом диаметре расточки статора занимают большую часть пространства внутри расточки. В этих случаях все катушки первого шага укладывают сразу обеими сторонами в нижние слои пазов, а катушки последнего шага — обеими сторонами в верхние слои пазов. При таком способе укладка обмотки облегчается, но лобовые части ее становятся не совсем симметричными и имеют несколько больший, чем обычно, вылет.

§ 50. Обмотки статоров машин переменного тока с жесткими катушками

Обмотки с жесткими катушками из прямоугольного провода применяют в статорах синхронных и асинхронных машин мощностью свыше 100 кВт. Сердечники статоров при этом имеют полуоткрытые или открытые пазы с параллельными стенками. Полуоткрытые пазы (рис. 151, *а*) обычно применяют в машинах мощностью до 400 кВт при напряжении до 660 В. Щель такого паза сдвинута от середины в сторону, а ширина ее обычно несколько больше половины ширины всего паза. В пазы укладывают, как правило, двухслойную обмотку из жестких, заранее сформованных катушек. Катушку делают разделенной на две части по ширине, как показано на рис. 151, *б*, что позволяет заполнить паз через прорезь (шлиц).

Хотя применение полуоткрытых пазов связано с увеличением числа катушек (разделенных катушек получается вдвое больше), что усложняет укладку, соединение и изолировку обмотки, т. е. увеличивает трудоемкость обмоточных работ, тем не менее полуоткрытые пазы широко применяются в машинах переменного тока, так как по сравнению с открытыми они создают меньшее сопротивление для магнитного потока, дают возможность повысить $\cos\varphi$ и другие технические показатели машин.

Полукатушки изолируют бумагой или лентой, а в пазы вкладывают изоляционные коробочки, например из двух слоев электро-

картона с проложенным между ними слоем лакоткани. Лобовые части полукатушек также изолируют лентой. При закладке катушек в паз зачастую вкладывают тонкий лощеный картон, выступающий из паза и образующий дополнительный вкладыш, или так называемую проходную коробку (показана тонкими линиями на рис. 151, *а*). Толщина картона — 0,2 мм. Проходная коробка, кото-

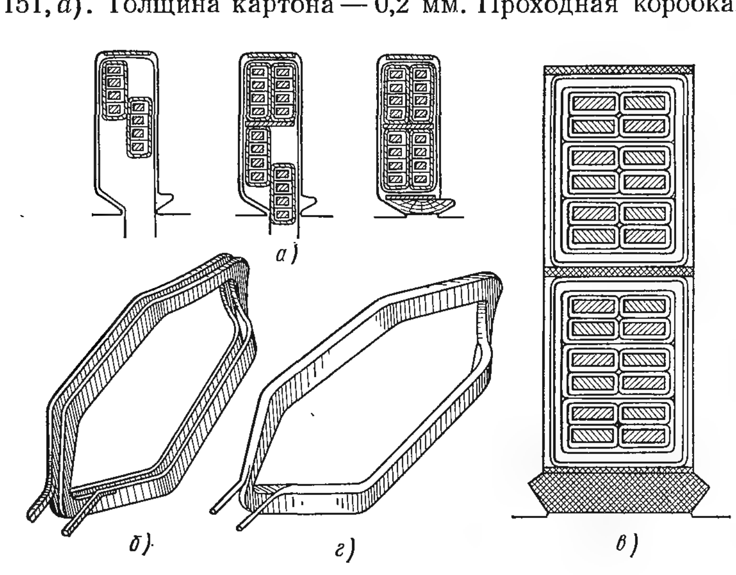


Рис. 151. Пазы и катушки обмоток из прямоугольного провода:
а — полуоткрытый паз и порядок укладки в него жестких подразделенных катушек (полукатушек), *б* — жесткая катушка из двух полукатушек для статора с полуоткрытым пазом, *в* — открытый паз статора, *г* — жесткая катушка двухслойной обмотки для открытых пазов

рая после закладки катушки вынимается, облегчает укладку обмотки в паз и защищает изоляцию полукатушек от повреждения об острые края зубцов.

В последнее время применяется метод изолировки лобовых частей полукатушек специальным лаком КП-22. Изготовленные полукатушки погружают лобовыми частями в лак, а затем просушивают при температуре 150—170°С в течение 7—10 мин. Предварительная пропитка также и пазовых частей полукатушек в лаке КП-22 позволяет отказаться от изоляции их телефонной бумагой. Все это существенно облегчает выполнение обмоточных работ.

В статорах крупных машин, рассчитанных на высокое напряжение, используются, как правило, открытые пазы (рис. 151, *в*), в которые закладывается двухслойная обмотка, состоящая из жестких секций (рис. 151, *г*). Гильзовая изоляция проводов катушек телефонной бумагой в таких машинах недостаточна, поэтому здесь применяется непрерывная изоляция катушек путем оплетки их лентами по всему контуру. Катушки чаще всего наматывают из провода ППЛБО, изоляция которого состоит из трех слоев лавсановой пленки и обмотки из хлопчатобумажной пряжи.

При выполнении статорных обмоток машин переменного тока из проводников прямоугольного сечения их обычно укладывают плашмя, т. е. широкой стороной по ширине паза. Это желательно для уменьшения добавочных потерь от вихревых токов.

Пазовые части статорных обмоток с жесткими катушками крепятся с помощью пазовых клиньев, изготовляемых из древесины твердых пород (бук, береза, клен), а также из текстолита или гетинакса. Лобовые части таких обмоток закрепляются гетинаксовыми планками и деревянными распорками, которые чаще всего крепятся шпильками к нажимным шайбам сердечника статора. В двухслойных обмотках лобовые части крепят зачастую с помощью стальных бандажных колец, к которым обычно приварено несколько планок (лапок), привинчиваемых шпильками к сердечнику статора. Кольцо и планки (лапки) изолируют несколькими слоями ленты, а также прокладками из электрокартона. Лобовые части обмотки прикрепляют к кольцу прочным крученым пеньковым шнуром или лентой.

В отличие от всыпных обмоток при ремонте обмоток с жесткими секциями, используемых, как правило, в статорах крупных машин, меняют обычно лишь часть обмотки — поврежденные катушки.

В обмотках рассматриваемого типа наиболее частыми видами неисправностей являются замыкания между катушками разных фаз и замыкание обмотки на корпус. Витковые замыкания встречаются здесь сравнительно редко, так как прямоугольные провода имеют достаточно прочную изоляцию и расположены в пазу упорядоченно, что способствует сохранению изоляции.

Последовательность операций при замене поврежденной катушки с пробитой изоляцией такова. Чтобы вынуть поврежденную катушку из пазов, поднимают верхние стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. Для этого снимают изоляцию междукатушечных и междуфазовых соединений, бандажи, которыми лобовые части прикреплены к бандажным кольцам, удаляют распорки между лобовыми частями и распаивают соединения по шагу обмотки. По катушкам, которые нужно поднять из пазов, пропускают постоянный ток и разогревают до температуры 80—90°С на их поверхности. После этого поднимают верхние стороны катушек по шагу обмотки с помощью деревянных клиньев, осторожно отгибают их внутрь статора и привязывают к лобовым частям уложенных катушек киперной лентой.

Затем вынимают из пазов катушку с пробитой изоляцией и осматривают пазы статора. Если в пазах обнаруживают заусенцы, их снимают напильником и продувают пазы сжатым воздухом из шланга. В пазы вкладывают новую катушку, нагретую до 80—90°С, и осаживают легкими ударами молотка по деревянной осадочной доске, приложенной к катушке по всей длине ее пазовой части. Лобовые части катушки рихтуются деревянным молотком. Нижние стороны лобовых частей привязывают к бандажным кольцам крученым шнуром. Между лобовыми частями забивают

дистанционные прокладки и привязывают их. В случае повреждения покровной ленты на сторонах катушек ленту снимают и вновь изолируют лобовые части.

После этого опускают в пазы поднятые ранее катушки, выравнивая их в горячем состоянии. Пазы заклинивают с двух сторон статора одновременно. Испытывают электрическую прочность корпусной и витковой изоляции уложенной обмотки (в случае пробоя изоляции снова производится ремонт). Затем паяют и изолируют соединения и всю обмотку пофазно, испытывают на пробой изоляции между витками и относительно корпуса. Поверхность статора покрывают лаком.

Изготовление жестких катушек обмотки статора крупных машин из обмоточного провода прямоугольного сечения требует применения специального дорогостоящего и громоздкого оборудования, которое достаточно рационально может быть использовано лишь на электромашиностроительном или крупном электроремонтном заводе соответствующей специализации. Поэтому ремонтным цехам и мастерским следует заказывать запасные катушки к эксплуатирующимся в зоне их действия крупным электрическим машинам на заводах-изготовителях этих машин или на специализированных электроремонтных заводах. Кустарное изготовление жестких катушек для статоров крупных машин переменного тока приводит, как правило, к некачественному ремонту.

§ 51. Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей

Фазные обмотки роторов асинхронных двигателей могут быть катушечными (у машин небольшой мощности) и стержневыми.

Катушечные обмотки фазных роторов небольших машин (рис. 152, *а*) выполняют, как правило, всыпными (однослойными или двухслойными) и значительно реже — с жесткими катушками из прямоугольного обмоточного провода. Всыпные обмотки укладывают в полузакрытые пазы трапецеидальной и овальной формы, а обмотки с жесткими катушками — в открытые пазы, обычно имеющие ширину 5—6 мм.

Фазные роторы двигателей средней и большой мощности выполняют обычно со стержневыми волновыми (реже с петлевыми) двухслойными обмотками, укладываемыми в полузакрытые пазы с параллельными стенками. Стержни вставляют в пазы ротора с торцевой стороны, поэтому лобовая часть стержня может быть отогнута на шаблоне заранее только с одной стороны; с другой стороны ее отгибают после укладки стержня в паз, т. е. уже на роторе. На рис. 152, *б* показан вид закладываемого в паз ротора стержня, представляющего собой полусекцию стержневой волновой обмотки; пунктиром показано, каким образом отгибается уже на роторе вторая лобовая часть полусекции. Для стержневых обмоток ротора используют либо медь прямоугольного сечения, либо так называемую роторную медь специального профиля. Лобовые

части стержней соединяют между собой с помощью хомутиков, как показано на рис. 152, *в*, причем между стержнями помещается медный клин (рис. 152, *г*). Все соединения стержней пропаивают. В некоторые хомутики (через 3—5) для улучшения вентиляции машины вставляют пластины из луженой листовой стали (рис. 152, *д*), которые играют роль вентиляционных лопастей.

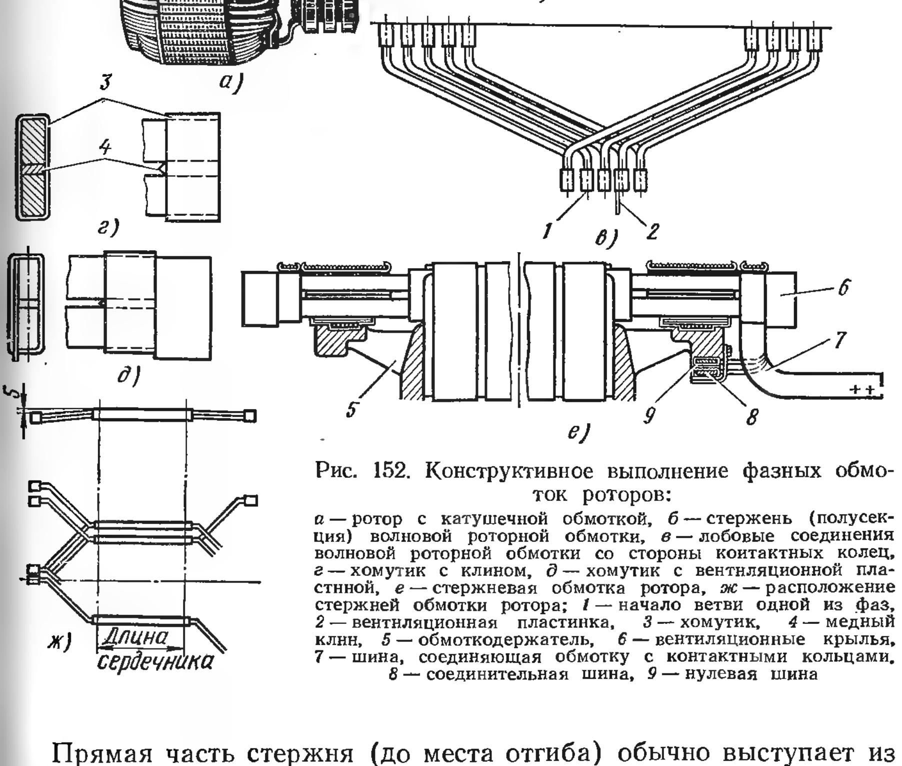


Рис. 152. Конструктивное выполнение фазных обмоток роторов:

а — ротор с катушечной обмоткой, *б* — стержень (полусекция) волновой роторной обмотки, *в* — лобовые соединения волновой роторной обмотки со стороны контактных колец, *г* — хомутик с клином, *д* — хомутик с вентиляционной пластиной, *е* — стержневая обмотка ротора, *ж* — расположение стержней обмотки ротора; *1* — начало ветви одной из фаз, *2* — вентиляционная пластинка, *3* — хомутик, *4* — медный клин, *5* — обмоткодержатель, *6* — вентиляционные крылья, *7* — шина, соединяющая обмотку с контактными кольцами, *8* — соединительная шина, *9* — нулевая шина

Прямая часть стержня (до места отгиба) обычно выступает из паза на 10—30 мм (в зависимости от размеров машины и стержней). Расстояние между лобовыми частями соседних стержней берут не менее 2,5 мм при напряжении до 500 В и не менее 3,5 мм при напряжении свыше 500 В.

Обмотку ротора обычно соединяют в звезду. Концы фаз соединяют между собой посредством нулевой шины, а начала фаз присоединяют также с помощью шин к трем контактным кольцам. Кроме того, для последовательного или параллельного соединения частей обмотки имеются специальные соединительные шины. Нулевую и соединительные шины обычно располагают с внутренней стороны обмоткодержателя и крепят к нему скобами

(рис. 152, *е*). Для соединения стержней обмотки с шинами их отгибают или применяют дополнительно промежуточные шины.

Для обеспечения возможности сборки и разборки машины лобовая часть роторной обмотки отогнута к центру на 5—6 мм, как это показано на рис. 152, *ж*.

Изоляция стержней роторной обмотки зависит от напряжения между контактными кольцами. Для напряжения до 500 В обычно применяют бакелизированную бумагу, которой обматывают стержень в 5—10 слоев, в паз закладывают изоляционную коробочку из электрокартона толщиной 0,2 мм, а лобовую часть изолируют тафтяной, лакированной или миткалевой лентой. При напряжении свыше 500 В обмотку в пазовой части изолируют микафолием, а в лобовой части — микалентой.

Уложенная в пазы фазная обмотка ротора при работе машины подвергается действию центробежных сил, поэтому ее следует закрепить как в пазах, так и в лобовых частях. Наиболее часто пазовую часть обмотки закрепляют с помощью клиньев. Клинья для ротора лучше делать из текстолита или гетинакса, так как деревянные клинья в процессе эксплуатации машины высыхают и ослабевают.

Лобовые части обмоток фазных роторов машин средней и большой мощности обычно крепят проволочными бандажами, плотно прижимающими их к обмоткодержателям (см. рис. 152, *е*). Под этими бандажами ставится изоляция толщиной 0,5—1 мм и шириной на 10—15 мм больше ширины бандажа. Проволочные бандажи в нескольких местах охватываются скобками (скрепками) из луженой листовой стали и пропаиваются.

В последние годы все большее применение получают стекловолокнистые бандажи, заменяющие проволочные. Стекловолокнистый бандаж получают путем намотки пропитанной стеклянной ленты ЛСБ-F толщиной 0,2 мм и шириной от 5 до 300 мм на прокладку, которую кладут поверх лобовых частей обмотки. Ленту наматывают вполнахлеста (вполуперекрышку) в несколько слоев и конец ее закрепляют оплавлением. Преимущества стекловолокнистых бандажей — отсутствие электромагнитных потерь, возникающих в стальных проволочных бандажах и нагревающих их, бо́льшая надежность, меньшая трудоемкость изготовления.

Способы ремонта всыпных обмоток роторов асинхронных электродвигателей практически мало чем отличаются от ремонта всыпных статорных обмоток. Одной из особенностей изготовления обмотки роторов является необходимость в возможно более равномерном расположении лобовых частей для обеспечения сбалансированности вращающихся масс ротора, особенно у быстроходных двигателей.

В средних и крупных машинах, как уже отмечалось выше, наиболее распространенными являются стержневые двухслойные волновые обмотки роторов. В этих обмотках, выполненных из медных стержней, обычно повреждаются не сами стержни, а их изоляция. Это происходит чаще всего от чрезмерных перегревов во

время работы машины, из-за чего нередко оказывается поврежденной также и пазовая изоляция ротора.

При ремонте роторов со стержневыми обмотками медные стержни поврежденной обмотки, как правило, используются повторно. Поэтому выемку стержней из пазов производят так, чтобы сохранить каждый стержень и после восстановления изоляции уложить его в тот же паз, в котором он находился до разборки. Для этого ротор эскизируют и делают записи по следующим элементам обмотки:

бандажам — число и расположение бандажей, число витков и слоев бандажной проволоки, диаметр бандажной проволоки и число скрепок (замков), число слоев и материал подбандажной изоляции;

лобовым частям обмотки — длину вылетов, направление изгиба стержней, шаги обмотки (передний и задний), переходы (перемычки), к каким пазам относятся начала и концы фаз;

пазовым частям обмотки — размеры стержня (изолированного и неизолированного), длина стержня в пределах паза и полная длина прямолинейного участка;

изоляции — материал, размеры и число слоев изоляции стержней, пазовой коробочки, прокладок в пазу, в лобовых частях, исполнение изоляции обмоткодержателя и т. д.;

балансировочным грузам — количество и расположение балансировочных грузов;

схеме обмотки — эскиз полной схемы обмотки с нумерацией пазов и указанием ее отличительных особенностей.

Эти эскизы и записи особенно тщательно должны быть сделаны при ремонте машин старых конструкций.

Выемку стержней обмоток роторов выполняют так:

разгибают замки бандажей и удаляют бандажи;

маркируют в соответствии с нумерацией пазов на чертеже схемы обмотки, пазы, в которых находятся начала и концы фаз, а также переходные перемычки;

удаляют клинья из пазов ротора;

распаивают головки, снимают соединительные хомутики и зачищают стержни и хомутики от наплывов припоя;

разгибают специальным ключом (см. рис. 82, *ж*, *з*) со стороны контактных колец отогнутые лобовые части стержней верхнего слоя, вынимают эти стержни из паза, при этом каждый стержень маркируют, указывая номер паза и слоя; в таком же порядке вынимают стержни нижнего слоя;

очищают стержни от старой изоляции, выправляют (рихтуют их), удаляя заусенцы и неровности, зачищают концы металлической щеткой;

очищают пазы сердечника ротора, обмоткодержатели и нажимные шайбы от остатков изоляции, проверяют состояние пазов и устраняют обнаруженные неровности.

Извлеченные из пазов ротора стержни, изоляцию которых не удается удалить механическим путем, обжигают в специальных

печах при температуре 600—650°C, не допуская превышения температуры обжига выше 650°C, ухудшающей электрические и механические свойства меди стержней вследствие пережога. Удалять изоляцию с медных стержней можно и химическим путем, погрузив их на 30—40 мин в ванну с 6%-ным раствором серной кислоты. Вынутые из ванны стержни следует промыть в щелочном растворе и воде, а затем обтереть тряпками и просушить. Концы стержней облуживают припоем ПОС-40.

Рис. 153. Фазный ротор асинхронного электродвигателя в процессе сборки стержневой обмотки:

1 — стойка поворотного устройства, *2* — ролик, *3* — нижний ряд стержней, *4* — верхний ряд стержней, *5* — изоляция между верхним и нижним рядами стержней

У свободных от старой изоляции и отрихтованных стержней восстанавливают изоляцию, используя такие же по своим характеристикам и размерам изоляционные материалы, как и те, что были применены заводом-изготовителем. Затем изоляцию стержней пропитывают лаком и в зависимости от требуемого для лака способа (на открытом воздухе или в печи) сушат и запекают новую изоляцию стержней.

Восстанавливают также пазовую изоляцию, вставляя прокладки на дно пазов и пазовые коробочки (обычно из электрокартона толщиной 0,3 мм) так, чтобы обеспечивался их равномерный вылет из пазов с обеих сторон сердечника ротора.

По окончании подготовительных операций приступают к сборке обмотки (рис. 153).

Сборка стержневой обмотки ротора состоит из следующих основных видов работ: укладки стержней в пазы сердечника ротора; гибки лобовых частей стержней; соединения стержней верхнего и нижнего рядов пайкой или сваркой.

Стержни поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью. Гибку вторых концов этих стержней производят специальными ключами после укладки в пазы. Вначале укла-

дывают в пазы стержни нижнего ряда, вставляя их в пазы со стороны, противоположной контактным кольцам. Уложив весь нижний ряд стержней, осаживают их прямые участки на дно пазов, а изогнутые лобовые части — на изолированный обмоткодержатель. Концы изогнутых лобовых частей прочно стягивают временным бандажом из мягкой стальной проволоки, плотно прижимая их к обмоткодержателю. Второй временный бандаж из проволоки наматывают посередине лобовых частей во время дальнейших операций их гибки.

После закрепления стержней временными бандажами приступают к гибке лобовых частей. Стержни гнут с помощью двух специальных ключей (см. рис. 82, *ж, з*) сначала по шагу, а затем по радиусу, обеспечивая требуемый осевой вылет и плотное прилегание их к обмоткодержателю.

Гибку стержней производят следующим образом:

берут в левую руку верхний ключ и зевом надевают его на прямую часть стержня, выходящую из паза сердечника;

держа в правой руке нижний ключ, надевают его зевом на лобовую часть стержня и подводят вплотную друг к другу, а затем нижним ключом изгибают стержень под углом.

Изогнуть первые стержни сразу на требуемый по схеме угол не позволяют прямые части соседних стержней, поэтому первый стержень удается изогнуть только на величину расстояния между стержнями, второй — на двойное расстояние, третий — на тройное и так до изгиба стержней, занимающих 2—3 шага обмотки, после чего делается возможным изгибание стержня на требуемый угол. Последними дополнительно изгибают те стержни, с которых начато было изгибание.

С помощью специальных ключей загибают также концы стержней, на которые затем будут надевать соединительные хомутики, после чего снимают временные бандажи и на лобовые части накладывают межслоевую изоляцию, а в пазы — изоляционные прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоев.

После укладки стержней нижнего ряда переходят к укладке стержней верхнего ряда обмотки. Стержни верхнего ряда вставляют в пазы со стороны, противоположной контактным кольцам ротора. После укладки всех стержней верхнего ряда накладывают на стержни временные бандажи, а их концы соединяют медной проволокой для проверки состояния изоляции обмотки (отсутствия замыканий на корпус).

При удовлетворительных результатах испытания изоляции, продолжая процесс сборки обмотки, изгибают концы верхних стержней, применяя приемы, аналогичные приемам гибки стержней нижнего слоя, с той лишь разницей, что теперь стержни изгибают в противоположную сторону. Изогнутые лобовые части верхних стержней также крепят двумя временными бандажами.

После укладки стержней верхнего и нижнего рядов обмотку ротора сушат при температуре 80—100°С в печи или сушильном шкафу, которые должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию.

Высушенную обмотку испытывают, присоединяя один электрод от высоковольтного испытательного трансформатора к любому из стержней ротора, а другой — к зачищенному до блеска зубцу сердечника или валу ротора. Так как все стержни роторной обмотки электрически соединены между собой, то испытывается одновременно изоляция всех стержней.

Заключительными операциями изготовления новой обмотки ротора ремонтируемой машины являются соединение стержней, забивка клиньев в пазы и бандажировка обмотки.

Соединение стержней чаще всего осуществляется пайкой с помощью облуженных хомутиков, надеваемых на концы стержней. Для пайки обычно применяют припой ПОС-40. Хомутики могут быть изготовлены из тонкой полосовой меди или из тонкостенной медной трубки. Применяются также запирающиеся хомутики, изготовляемые из медной полосы толщиной 1—1,5 мм. Один конец запирающегося хомутика имеет фигурный выступ, а другой — соответствующий ему вырез. При изгибании хомутика выступ входит в вырез и образует замок, препятствующий разгибанию хомутика.

Хомутики надевают согласно схеме на концы стержней, забивают между ними по одному медному контактному клину, а затем пропаивают соединение паяльником или погружая концы стержней собранной обмотки ротора в ванну с расплавленным припоем. Медные контактные клинья служат для создания надежного контакта между концами стержней, так как слои стержней разделены изоляцией и поэтому их концы не могут плотно прилегать друг к другу.

В целях повышения надежности работы машин и экономии дорогостоящего свинцово-оловянистого припоя применяют соединение стержней роторов сваркой, однако этот способ обладает рядом недостатков, в частности снижает ремонтопригодность машины, так как разборка стержней, соединенных сваркой, связана с большими затратами труда на разъединение и зачистку сварных участков.

Обмотки фазных роторов асинхронных электродвигателей соединяются преимущественно в звезду, при этом три из шести свободных концов стержней соединяются вместе, а остальные три подводятся к контактным кольцам ротора.

После окончания сборки и пайки стержней обмотки приступают к бандажированию ротора.

§ 52. Якорные обмотки коллекторных машин

В небольших коллекторных машинах постоянного и переменного тока с диаметром якоря до 100 мм чаще всего применяют так называемые ручные обмотки. Эти обмотки выполняют из проводов круглого сечения с эмалевой или эмалево-волокнистой изоляцией и укладывают в полузакрытые пазы. Название «ручные» такие обмотки получили потому, что раньше при мелкосерийном производстве их выполняли вручную, хотя теперь, как правило, для это-

го используют намоточные станки. При такой обмотке катушки заранее не заготовляют, а провод наматывают непосредственно в пазы, что позволяет существенно уменьшить длину витков и вылет лобовых частей, а следовательно, расход обмоточного провода. Лобовые части ручной обмотки плотно прилегают к торцу сердечника якоря и огибают вал, поэтому по торцам сердечника ставятся штампованные изоляционные листы из фибры, текстолита или

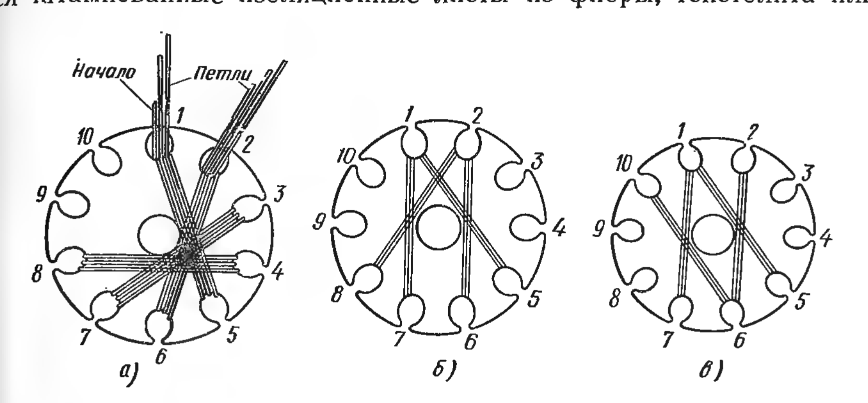


Рис. 154. Способы укладки ручных обмоток якорей коллекторных машин малой мощности:

а — намотка непрерывным проводом, *б* — иамотка «в елочку», *в* — двуххордовая намотка

электрокартона толщиной 1—2 мм, а вал под лобовыми частями обмотки изолируют лентой или изоляционной втулкой (трубкой). Перед началом намотки в пазы сердечника якоря вставляют изоляционные пазовые коробочки, выступающие из пазов на несколько миллиметров (в зависимости от размеров якоря). Намотку ведут, натягивая провод и стараясь избегать его перекрещивания в пазах. В ручных обмотках первые катушки кладут на дно паза. Якорь обматывают, оставляя выводные петли для присоединения к коллектору, причем петли выпускаются из каждого паза по числу секций.

На рис. 154, *а* показан один из способов укладки ручной обмотки якоря коллекторной машины, имеющей следующие данные: число пазов $z=10$, число секций в пазу $u_п=3$, число витков в секции $w_с=37$, шаг по пазам $y_z=4$, шаг по коллектору $y_к=1$, число коллекторных пластин $K=30$, число проводов в пазу — 222. Намотку ведут в следующем порядке. Сначала наматывают 37 витков первой секции из паза *1* в паз *5*. Затем из паза *1* выпускают первую петлю длиной ≈ 40 мм и в те же пазы наматывают вторую секцию, после чего выпускают из паза *1* вторую петлю длиннее первой на 10—15 мм. Далее в те же пазы *1* и *5* наматывают третью секцию и выпускают из паза *1* третью петлю, длина которой еще на 10—15 мм больше, чем у второй.

Затем, не отрезая провод от бухты, переводят его в паз *2* и точно так же наматывают три секции в пазах *2* и *6*, делая каждую

секцию из 37 витков и выпуская из паза *2* такие же три петли, сначала длиной 40 мм, а затем на 10—15 мм длиннее и, наконец, еще длиннее на 10—15 мм.

Аналогичным образом обматывают пазы *3—7* и *4—8*. При этом все пазы будут заполнены наполовину. Следующие секции будут наматываться из паза *5* в паз *9*, но половина паза *5* уже заполнена первыми тремя секциями. Следовательно, когда будет закончена намотка трех секций из паза *5* в паз *9*, паз *5* будет заполнен целиком и из него будут также выходить три петли разной длины.

Затем намотку производят из паза *6* в паз *10* и из паза *7* в паз *1*, после чего будут целиком заполнены пазы *6*, *7* и *1*. Последними будут заполнены пазы *10* и *4*. Из последней секции паза *10* выйдет конец обмотки, который следует соединить с началом обмотки, выходящим из паза *1*. Таким образом, вся обмотка якоря наматывается одним непрерывным проводом.

Петли, являющиеся концом одной секции и началом следующей, присоединяют к коллекторным пластинам в определенном порядке: короткая, средняя и длинная из паза *1*; затем короткая, средняя и длинная из паза *2* и т. д.

Недостатком описанного выше способа укладки обмотки является несимметричное расположение лобовых частей, что создает существенную несбалансированность якоря, особенно нежелательную в быстроходных машинах. Сбалансировать же якорь дополнительными грузами трудно, так как на маленьком якоре мало места для расположения балансировочных грузов.

Уменьшить этот недостаток можно, используя способ выполнения ручной намотки «в елочку», показанной на рис. 154, *б*, для обмотки со следующими данными: $z=10$; $u_n=1$; $w_c=10$; $y_z=4$; $y_к=1$; $K=10$. Обмотку начинают из паза *1*. Сначала в пазы *1—5* наматывают половину секции — пять витков, а затем вторую половину секции (тоже пять витков) наматывают в пазы *1—7* (т. е. с тем же шагом $y_z=4$). После намотки первой секции паз *1* заполнится наполовину, а пазы *5* и *7* — на одну четверть. Далее переходят в паз *2* и из него наматывают пять витков в паз *6* и пять витков в паз *8*. Таким же образом намотку продолжают дальше. Обмотку «в елочку» нельзя выполнить непрерывным проводом, так как наматываемые очередные секции не идут подряд друг за другом по схеме. После намотки каждой секции провод приходится обрезать и концы секций маркировать с тем, чтобы правильно присоединить их к коллектору.

На рис. 154, *в* показан еще один способ выполнения ручной обмотки якоря — двуххордовый. Сама обмотка имеет такие же данные, как и в предыдущем случае. Название способа намотки обусловлено тем, что намотку производят по двум хордам, симметрично расположенным по отношению к валу. При этом способе сначала наматывают пять витков в пазы *1—5*, а затем переводят намотку в пазы *10—6*. Следующие две хорды наматывают в пазы *1—7* и *2—6*. Затем обе хорды продолжают сдвигать по часовой стрелке, каждый раз захватывая по две пары пазов. При двуххор-

довом способе, как и при способе «в елочку», после намотки каждой секции провод обрезают, а выводы секций маркируют для того, чтобы можно было их присоединить к коллектору в нужной последовательности. Кроме того, этот способ намотки позволяет также достаточно симметрично расположить лобовые части обмотки.

Как известно, из-за реакции якоря в коллекторных машинах, не имеющих дополнительных полюсов, геометрическая нейтраль существенно не совпадает с физической. Поэтому в таких машинах, если они имеют поворотные траверсы для щеткодержателей и щеток, у двигателей щетки сдвигают на некоторый угол от геометрической нейтрали против направления вращения якоря, а у генераторов — по направлению вращения. Многие мелкие коллекторные двигатели не имеют поворотных траверс, поэтому у таких двигателей приходится как бы заранее смещать коллектор по отношению к обмотке в сторону вращения якоря. Обычно смещение коллекторных пластин составляет 1—2 коллекторных деления.

Ручные обмотки закрепляют в пазах текстолитовыми или гетинаксовыми клиньями, а выводы обмотки, идущие к коллектору, крепят бандажами из пропитанного пенькового шнура.

В небольших коллекторных машинах с диаметром якоря до 200 мм зачастую применяют всыпные обмотки. Сердечники таких якорей имеют, как правило, полузакрытые пазы грушевидной формы.. Обмотку выполняют из изолированного провода круглого сечения. Мягкие секции обмотки заготовляют на шаблоне, а затем «всыпают» через шлицы в пазы, куда заранее вкладывают гильзы пазовой изоляции. В пазах обмотку крепят клиньями. Конструктивные особенности всыпных обмоток якорей коллекторных машин, фазовых роторов асинхронных машин, а также статорных всыпных обмоток асинхронных и синхронных машин во многом сходны.

В якорях коллекторных машин средней и большой мощности применяются обычно обмотки из прямоугольного провода. Якоря этих машин имеют, как правило, открытые пазы. Секции якорной обмотки коллекторной машины из прямоугольного провода могут быть многовитковыми и одновитковыми. Одновитковые секции, выполняемые из провода большого сечения, часто делят на две полусекции, которые после укладки в пазы с одной стороны присоединяются к коллекторным пластинам, а с другой — соединяются между собой хомутиками. Многовитковые секции из жесткого прямоугольного провода наматываются и изгибаются на шаблоне. Якорные обмотки современных машин — двухслойные, поэтому одна сторона секции попадает в верхний слой паза, а другая — в нижний. Переход из слоя в слой — соответствующий изгиб проводов — осуществляется в головках секций, которые могут быть простыми или перекрещенными (рис. 155).

Обычно на шаблоне изготовляют сразу катушку обмотки, состоящую из нескольких секций, затем катушку изолируют и в готовом виде закладывают в пазы. В пазах якорей машин постоянно-

го тока прямоугольные провода обычно располагают широкой стороной по высоте паза.

Обмотки из прямоугольных проводов, укладываемые в открытые пазы якорей, закрепляют чаще всего клиньями. Иногда крепление пазовой части обмотки осуществляют с помощью бандажей. Лобовые части обмоток закрепляют бандажами.

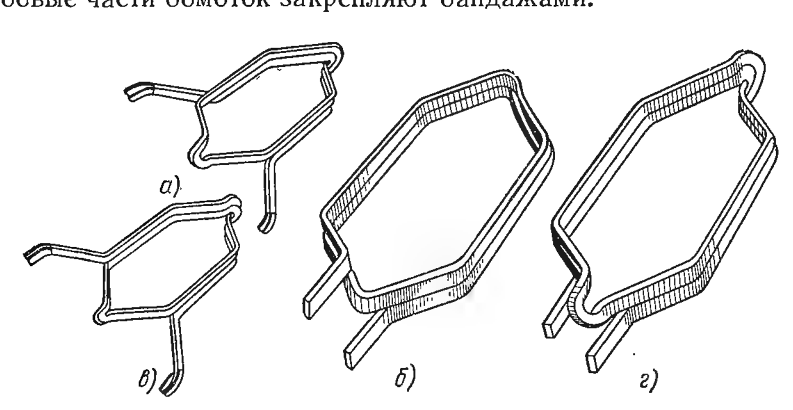


Рис. 155. Катушки якорной обмотки из прямоугольного провода:
а — для волновой обмотки с простой головкой, *б* — для петлевой обмотки с простой головкой, *в* — для волновой обмотки с перекрещенной головкой, *г* — для петлевой обмотки с перекрещенной головкой

Некоторые конструктивные особенности обмоток, выполняемых из прямоугольного провода, указаны в § 50.

Основными неисправностями обмоток якорей коллекторных машин являются повреждения изоляции между витками и секциями, паек, пробой изоляции на корпус или бандаж. При подготовке якоря к ремонту с заменой обмотки его очищают от грязи, снимают старые бандажи и, отпаяв выводы секций от коллекторных пластин, удаляют старую обмотку, предварительно записав все данные, необходимые для ремонта.

В якорях с пропитанными всыпными обмотками, а также с миканитовой изоляцией часто очень трудно извлечь обмотки из пазов. Если секции вынуть не удается, якорь нагревают в печи или сушильном шкафу до 80—100°С, поддерживают эту температуру 40—60 мин и после этого извлекают секции из пазов. Чтобы вынуть жесткие секции из открытых и полуоткрытых пазов, используют тонкий шлифованный клин, который для поднятия верхних секций вбивают между верхней и нижней секциями, а для поднятия нижних — между нижней секцией и дном паза. Пазы освобожденного от обмотки якоря очищают от остатков старой изоляции и обрабатывают напильниками или стальными дорнами, а затем лакируют.

Как отмечено выше, в якорях коллекторных машин небольшой мощности применяют ручные и всыпные обмотки. В машинах постоянного тока средних габаритов напряжением до 500 В наиболее

широко распространены шаблонные якорные обмотки из провода прямоугольного сечения. Для намотки секций такой обмотки применяют как изолированные обмоточные провода, так и медные шины, изолируемые лакотканью, стеклолакотканью, микалентой или стекломикалентой. Секции шаблонной обмотки наматывают

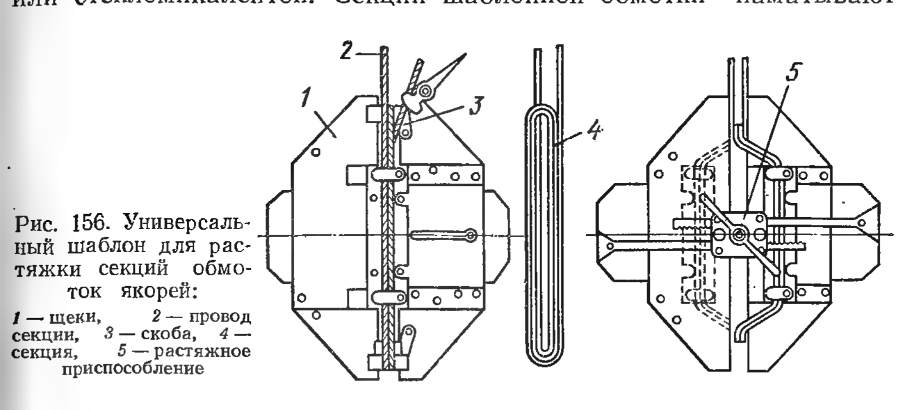


Рис. 156. Универсальный шаблон для растяжки секций обмоток якорей:

1 — щеки, *2* — провод секции, *3* — скоба, *4* — секция, *5* — растяжное приспособление

на универсальных шаблонах (рис. 156), которые позволяют производить намотку, а затем растяжку небольших секций, не снимая их с шаблона. Растяжку секций якорей крупных машин производят на специальных станках с механическим приводом. Таких станков обычно нет на ремонтных предприятиях, поэтому секции (катушки) обмотки якорей крупных коллекторных машин ремонтные предприятия обычно заказывают на заводах-изготовителях этих машин. Сами же ремонтные предприятия лишь производят замену поврежденных участков обмотки новыми катушками.

Секцию шаблонной обмотки перед растяжкой скрепляют, временно оплетая ее киперной лентой в один слой, что обеспечивает правильность формирования секции при растяжке. Сформированную секцию изолируют вручную или на специальных изолировочных станках (см. рис. 85), используя при этом чаще всего хлопчатобумажную изоляционную ленту. Изолированную секцию пропитывают изоляционным лаком и сушат, после чего вкладывают в пазы сердечника якоря и закрепляют в них деревянными клиньями.

На рис. 157 показан якорь коллекторной машины, подготовленный к закладке в его пазы секций обмотки. При вкладывании в паз шаблонной секции необходимо следить за тем, чтобы она легла правильно. Длина выводных концов секций, обращенных в сторону коллектора, а также расстояние от края стали сердечника до перехода прямой (пазовой) части в лобовую должны быть одинаковыми.

После укладки всех секций проверяют (обычно контрольной лампой) правильность вывода проводов из пазов, а затем присоединяют провода к пластинам коллектора пайкой оловянисто-свинцовым припоем ПОС-40.

Присоединение пайкой концов секций обмотки якоря к коллекторным пластинам является одной из ответственнейших операций, так как некачественно выполненная пайка вызывает повышенное искрение на коллекторе, увеличение сопротивления и чрезмерный

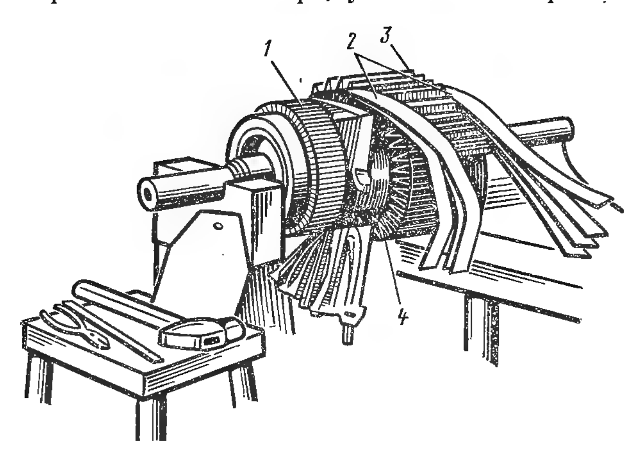


Рис. 157. Якорь машины постоянного тока перед укладкой в него секций шаблонной обмотки:

1 — коллектор, *2* — межсекционная изоляция из полос электрокартона, *3* — сердечник, *4* — пазовая изоляция (коробочки)

нагрев участка соединения, что может привести к выходу машины из строя.

Для выполнения пайки якорь с коллектором устанавливают на подставке в наклонном положении, чтобы при пайке не допустить затекания припоя в пространство между коллекторными пластинами, а также защищают обмотку якоря несколькими слоями асбестовой ткани. Далее вкладывают зачищенные концы проводов обмотки в прорези петушков коллекторных пластин, посыпают порошком канифоли, нагревают коллектор до 180—200°С и, расплавляя паяльником пруток припоя, припаивают провода обмотки к коллекторным пластинам.

Качество пайки проверяют внешним осмотром места пайки, измерением переходного сопротивления между соседними парами пластин коллектора, пропусканием нормального рабочего тока по обмотке якоря. На поверхности пластин коллектора и между ними не должно быть застывших капель припоя; переходное сопротивление между всеми соседними парами пластин коллектора должно быть одинаковым (резкое увеличение переходного сопротивления в какой-либо паре пластин свидетельствует о низком качестве пайки на этом участке); при пропускании по обмотке якоря в течение 20—30 мин нормального рабочего тока не должно наблюдаться местных повышенных нагревов в местах пайки (такие нагревы появляются в местах некачественной пайки).

§ 53. Полюсные катушки

Обмотки возбуждения синхронных и коллекторных машин, а также обмотки добавочных (дополнительных) полюсов машин постоянного тока обычно выполняют в виде полюсных катушек.

В коллекторных машинах полюсные катушки размещаются, как правило, на статоре и являются неподвижными, а в синхронных машинах они обычно находятся на роторе и вращаются вместе с ним.

Полюсные катушки обмоток возбуждения должны быть включены таким образом, чтобы полярность полюсов чередовалась. Это может быть достигнуто либо за счет разного направления намотки катушек соседних полюсов, либо за счет разного направления токов в них. На практике все полюсные катушки машины обычно намотаны в одну и ту же сторону, так как на заводе-изготовителе нецелесообразно менять направление вращения обмоточных станков, а чередование полюсов достигается за счет разного направления токов в соседних катушках. Для этого при последовательном соединении полюсных катушек между собой конец одной катушки соединяют с концом соседней, а ее начало — с началом следующей и т. д. Концы и начала полюсных катушек обозначают соответственно буквами К и Н, написанными на катушках красной краской. Кроме того, на катушке указывают ту ее сторону, которая прилегает к корпусу машины, так как если катушку перевернуть, то полярность полюса изменится.

Рис. 158. Определение порядка чередования главных и добавочных полюсов (*а*), полярности щеток (*б*) и направления тока в компенсационной обмотке (*в*)

Машины постоянного тока мощностью свыше 1 кВт кроме главных имеют, как правило, еще и добавочные полюса. Чередование полярности главных и добавочных полюсов здесь следующее: у двигателей, если следовать по направлению вращения якоря, вслед за главным будет добавочный полюс той же полярности, а у генераторов — добавочный полюс обратной полярности (рис. 158, *а*).

Полярность щеток машин постоянного тока можно определять так. Следует запомнить, что как у двигателей, так и у генераторов при вращении якоря по часовой стрелке (если смотреть со стороны коллектора) напротив северного главного полюса находится щетка «минус» (—), как это показано на рис. 158, *б*. Такая полярность щетки будет при использовании на якоре наиболее употребительной «неперекрещенной» обмотки (т. е. правоходовой петлевой или левоходовой волновой). Если обмотка якоря «перекрещен-

ная», то полярность щетки изменится на обратную. Изменится полярность щетки также и при другом направлении вращения якоря.

В крупных и средних машинах постоянного тока для улучшения условий коммутации зачастую применяют компенсационные обмотки, укладываемые в пазы полюсных башмаков. Компенсационная обмотка, которую включают последовательно с обмоткой якоря, компенсирует магнитное поле реакции якоря, а поэтому направление тока в ней должно быть противоположным по сравнению с током в проводниках якорной обмотки, находящихся под данным полюсным башмаком (рис. 158, *в*).

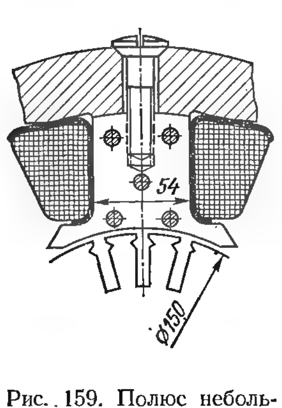


Рис. 159. Полюс небольшой машины постоянного тока с катушкой параллельной обмотки возбуждения (шунтовой)

При подключении в цепь якоря последовательных (сериесных) обмоток возбуждения, обмоток добавочных полюсов, а также компенсационных обмоток следует помнить, что через «плюсовую» щетку у генератора ток из якоря уходит во внешнюю сеть, а у двигателя — приходит из внешней сети в якорь.

В большинстве машин постоянного тока с параллельными (шунтовыми) обмотками возбуждения катушки главных полюсов изготовляют из большого числа витков круглого обмоточного провода, имеющего эмалевую или эмалево-волокнистую изоляцию. Катушки делают на специальных оправках, обматывают тафтяной или киперной лентой, пропитывают и сушат, а затем надевают непосредственно на полюс (рис. 159). Для изоляции катушки от сердечника полюса и станины применяют электрокартон, микафолий, стекломикафолий, миканит (в зависимости от класса нагревостойкости); толщина изоляции обычно составляет от 0,5 до 1,5 мм.

В машинах средней и большой мощности с параллельными обмотками возбуждения полюсные катушки иногда наматывают на специальный каркас, вместе с которым их надевают на полюс. В некоторых небольших машинах каркас делают из изоляционных материалов и на него наматывают провод круглого сечения. В более крупных машинах каркас изготовляют из листовой стали толщиной 1—2 мм. Перед намоткой катушки стенки каркаса изолируют несколькими слоями электрокартона или миканита, а между металлическими шайбами каркаса и обмоткой ставят изоляционные шайбы. Поскольку в месте стыка изоляционных шайб и изоляции стенок каркаса часто происходит пробой изоляции, то здесь прокладывают согнутые под прямым углом полоски лакоткани или в углах кладут виток из крученого пенькового шнура.

Обмотки параллельного возбуждения крупных машин часто наматывают изолированным проводом прямоугольного сечения.

Выводные концы полюсных катушек параллельных обмоток

возбуждения чаще всего выполняют так. После наложения первого витка к его началу припаивают медную полоску небольшой толщины, но с бо́льшим поперечным сечением, чем провод катушки. Длина этой полосы должна обеспечить выход ее наружу после намотки всех витков катушки. Выводную полосу тщательно изолируют лакотканью или тафтяной лентой. После намотки примерно половины катушки в нее закладывают вторую изолированную медную полоску, изогнутую таким образом, чтобы к одному ее концу можно было припаять конец последнего витка катушки, а второй конец полосы выходил наружу и служил выводом. Наматывая оставшиеся ряды витков, закрывают ими выводную медную полосу и таким образом прочно закрепляют вывод катушки. К выводным медным полосам катушки припаивают зажимы, к которым подключают соединительные проводники.

Размеры и форма катушки зависят от числа ее витков, сечения и формы проводников, наличия в машине места между полюсами. Шунтовые катушки обычно делают постепенно расширяющимися в сторону ярма машины. У крупных машин с обмотками из прямоугольных проводов катушки делают ступенчатой формы, что увеличивает их поверхность и улучшает охлаждение. С этой же целью катушки могут быть разделены на части (секции).

У машин со смешанным (компаундным) возбуждением последовательная (сериесная) катушка обычно располагается отдельно над шунтовой (параллельной), так как при расположении одной катушки внутри другой затрудняется охлаждение внутренней катушки.

Последовательные (сериесные) катушки обычно наматывают из изолированных обмоточных проводов прямоугольного сечения, но в крупных машинах при большом сечении обмотки используют голые медные шины. Между отдельными витками (слоями) обмотки в этом случае прокладывают изоляцию, например электрокартон. Последовательные катушки главных полюсов, выполняемые из провода прямоугольного сечения, обычно наматывают плашмя, т. е. широкая сторона провода располагается вдоль полюса. При большом сечении прямоугольного провода выполнить такую намотку в несколько рядов затруднительно, поэтому в крупных машинах смешанного возбуждения сериесные катушки делают, как правило, однорядными.

В небольших и средних машинах последовательного возбуждения, где последовательные катушки являются основными, их приходится выполнять многорядными, наматывая каждый ряд в несколько слоев. Катушки размещают на каркасе.

В крупных тяговых двигателях последовательные катушки наматывают на ребро, располагая обмотку в один слой.

В небольших коллекторных двигателях переменного тока, где полюса, не съемные, а выштампованы из листов стали заодно с ярмом, сериесные катушки изготовляют из круглых изолированных проводов, обматывают тафтяной или киперной лентой, а затем п опитывают и надевают на полюс через башмак.

Катушки добавочных полюсов машин постоянного тока в конструктивном отношении схожи с сериесными катушками главных полюсов. В очень крупных машинах катушки добавочных полюсов из прямоугольных проводов большого сечения наматывают на ребро.

На ребро наматывают также в большинстве случаев катушки обмоток возбуждения средних и крупных явнополюсных синхронных машин. Такие катушки более плотные и компактные, центробежная сила передается здесь через большую поверхность, что уменьшает опасность повреждения витковой изоляции. Намотанные на ребро катушки — однослойные, что способствует хорошему и равномерному охлаждению всех витков.

Для вращающихся катушек полюсов синхронных машин очень важно обеспечить механическую прочность как самих катушек, так и их крепления на машине, для чего используются обычно специальные конструктивные детали — распорки, стяжки, скобы, клинья и др.

В явнополюсных синхронных машинах небольшой мощности в ряде случаев катушки возбуждения выполняют из круглого изолированного обмоточного провода и закрепляют с помощью специальных скоб и клиньев в междуполюсных пазах.

Новые полюсные катушки при ремонте машин изготовляют обычно на специальных станках, один из которых был показан на рис. 86.

При ремонте машин постоянного тока катушки главных полюсов наматывают на каркасах или шаблонах, руководствуясь снятыми с натуры обмоточными данными ремонтируемой машины. Каркасы небольших машин обычно изготовляют из электрокартона.

Шаблоны для намотки полюсных катушек делают либо деревянными (для сравнительно небольших машин), либо из стали (для средних и крупных машин).

Намотку катушек главных полюсов машин постоянного тока средней мошности выполняют в такой последовательности. Изолируют вручную каркас или шаблон по высоте несколькими слоями микафолия, а затем укрепляют на нем изолированную лакотканью выводную пластину, припаянную к началу обмоточного провода. Устанавливают каркас (шаблон) на станок и наматывают катушку. При этом следят, чтобы провод укладывался равномерно, без зазоров и перехлестов через витки. Перед намоткой последнего слоя провода на каркас устанавливают вторую выводную пластинку, к которой припаивают второй конец катушки припоем ПОС-40. Намотанную катушку сушат, пропитывают лаком и вновь сушат. Готовую катушку *5* насаживают на полюс *4* и крепят деревянными клиньями *3* (рис. 160).

Полюсные катушки изготовляют и другим способом, при котором провод наматывают не на каркас или шаблон, а непосредственно на изолированный полюс. При этом придерживаются такой последовательности операций. Очищают поверхность полюса и по-

крывают ее глифталевым лаком. Отрезают полосу лакоткани шириной 80 мм и длиной, равной периметру полюса, а затем наклеивают лакоткань так, чтобы она прилегала к сердечнику половиной ширины. Далее изолируют сердечник полюса, наматывая на него слои микафолия и асбеста, пропитанного лаком. Каждый слой микафолия проглаживают горячим утюгом и протирают чистой сухой тряпкой. Наложив изоляцию требуемой толщины, загибают на сердечник свешивающийся край лакоткани и наклеивают ее на плоский слой микафолия. На изолированный полюс надевают нижнюю изоляционную шайбу, наматывают катушку и надевают верхнюю изоляционную шайбу. После этого катушку закрепляют на полюсе, расклинивая деревянными клиньями.

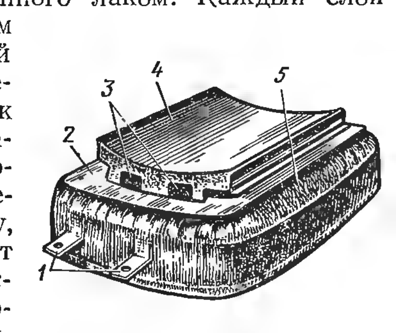


Рис. 160. Полюсная катушка, надетая на полюс:
1 — выводные пластины, *2* — каркас, *3* — клинья, *4* — полюс, *5* — катушка

Катушки дополнительных полюсов мелких машин наматывают изолированным проводом, а средних и крупных — неизолированным проводом прямоугольного сечения, укладывая витки катушки плашмя или на ребро. У катушки дополнительных полюсов обычно повреждается не медь, а изоляция, поэтому ремонт катушки практически сводится к восстановлению ее изоляции. Изоляцией между витками часто служит асбестовая бумага толщиной 0,3 мм, которую нарезают по размеру витков в виде рамок и вкладывают между витками после намотки. Наружная изоляция катушки состоит из последовательно накладываемых слоев асбестовой ленты и микаленты, закрепляемых тафтяной лентой.

При переизолировке катушку очищают от старой изоляции и надевают на специальную оправку. Заготовляют прокладки из асбестовой бумаги, электрокартона или миканита. Количество прокладок равно количеству витков. Раздвигают витки катушки на оправке, затем вкладывают между ними прокладки, предварительно покрыв их с обеих сторон тонким слоем бакелитового или глифталевого лака. Затем стягивают катушку хлопчатобумажной лентой и прессуют на металлической оправке.

Прессовку катушки выполняют так. Надевают на оправку торцевую изоляционную шайбу, устанавливают на ней катушку, накрывают второй шайбой и сжимают катушку. Затем подключают катушку к сварочному трансформатору, нагревают ее током до 120°С, после чего, дополнительно сжимая катушку, прессуют ее окончательно. Далее охлаждают катушку в запрессованном положении на оправке до 25—30°С, снимают ее с оправки, покрывают лаком воздушной сушки и выдерживают в течение 10—12 ч при температуре 20—25°С.

Наружную поверхность опрессованной катушки изолируют ас-

бестовой лентой, а затем микалентой, закрепляемыми тафтяной лентой, и покрывают лаком.

Готовую катушку насаживают на дополнительный полюс и закрепляют на нем деревянными клиньями.

§ 54. Порядок разборки и сборки электрических машин

В ремонт поступают электрические машины как отечественного, так и иностранного производства, различающиеся по назначению,

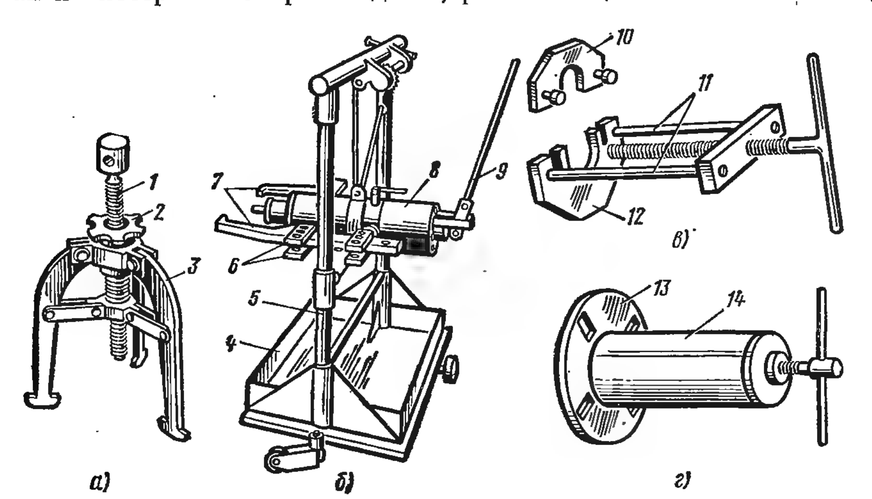


Рис. 161. Съемники для стягивания (распрессовки) полумуфт и подшипников с валов электрических машин:

а — винтовой с регулируемым раскрытием тяг, *б* — гидравлический, *в* — для стаскивания подшипников качения захватом за подшипник, *г* — для стаскивания подшипников качения захватом болтами за крышки или капсюли подшипника, *1* — червячный винт с головкой, *2* — регулировочная гайка, *3* — тяги (захваты), *4* — площадка, *5* — стойка, *6* — траверсы, *7* — захваты, *8* — плунжерный насос, *9* — рукоятка штока насоса, *10* — пластинка со штифтами, *11* — шпильки, *12* — плита, *13* — диск, *14* — корпус съемника

мощности, исполнению и конструкции. Порядок разборки каждой ремонтируемой электрической машины определяется ее конструкцией и необходимостью сохранения имеющихся исправных частей, а степень разборки — характером и полнотой предстоящего ремонта.

Перед началом ремонта электрической машины необходимо убедиться в наличии всех требуемых для ремонта материалов, изделий и запасных частей соответствующих размеров, марок и характеристик.

В настоящем разделе приводится описание последовательности способов выполнения основных операций разборки асинхронных электродвигателей, машин постоянного тока и синхронных машин единых серий и наиболее распространенных конструкций. Способы их разборки практически применимы к большинству электри-

ческих машин, как выпускаемых в настоящее время, так и выпускавшихся ранее.

Разборка большинства электрических машин начинается с удаления полумуфт с вала с помощью съемников: ручного с регулируемым раскрытием тяг или гидравлического.

Съемник с регулируемым раскрытием тяг (рис. 161, *а*) позволяет стаскивать с вала полумуфты различных диаметров. Раскрытие и фиксирование тяг в соответствии с диаметрами снимаемых полумуфт производятся регулировочной гайкой *2*, навернутой на резьбу винта *1*. Стаскивание полумуфт с помощью ручного съемника является достаточно трудоемкой операцией, требующей зачастую больших физических напряжений.

Механизация операций демонтажа полумуфт достигается применением гидравлического съемника (рис. 161, *б*). Он представляет собой установленную на колесах площадку *4* с двумя стойками *5*, на которых вертикально перемещается гидравлический плунжерный насос *8*. Чтобы снять полумуфту, устанавливают и укрепляют болтами на корпусе насоса траверсы *6*, между которыми также болтами закрепляют захваты *7*. Расстояние между захватами определяется диаметром стаскиваемой полумуфты.

Для предотвращения падения снятой с вала полумуфты ее до начала операций демонтажа подвешивают стропом на крюк тали или тельфера. Высоту подъема насоса регулируют так, чтобы центр упора совпадал с центром вала, а захваты прочно зацепляли полумуфту по горизонтали, проходящей через центр вала. После этого приводят в движение рукоятку *9* плунжерного насоса, создавая необходимое давление масла в его корпусе. Под давлением масла главный и боковые плунжеры съемника приходят в движение, при этом усилием боковых плунжеров обеспечивается надежный захват полумуфты, а усилием главного плунжера полумуфта легко стягивается с вала электрической машины. Применение гидравлического съемника позволяет выполнять операции демонтажа полумуфт в 5—6 раз быстрее, чем это делается вручную винтовым съемником.

После демонтажа полумуфты дальнейшие операции разборки электрических машин выполняют в порядке, указанном ниже по каждому виду машин.

Асинхронные электрические машины единой серии А2 и АО2 разбирают в такой последовательности:

снимают кожух (см. рис. 27, *а*) наружного вентилятора, а затем и вентилятор;

отвертывают болты, крепящие подшипниковые щиты *4* к станине *7*, а также болты, крепящие крышки *2* подшипника заднего щита;

снимают задний подшипниковый щит *4*, отделяя его от станины *7* легкими ударами молотка по щиту через деревянную или алюминиевую надставку; во фланцах подшипниковых щитов машин имеются резьбовые отверстия для так называемых отжимных болтов; вставив в эти отверстия болты, крепившие щит к станине,

медленно и равномерно ввертывают их по резьбе и отделяют щит от станины;

выводят ротор из статора, пользуясь специальными приспособлениями, простейшими из которых являются удлинительные трубы, надеваемые на концы вала, предварительно обернутые двумя-тремя слоями картона для защиты шлифованных поверхностей шеек вала от механических повреждений;

снимают передний щит с подшипника, насаженного на вал ротора, предварительно отвернув болты, крепящие подшипниковые крышки.

При разборке асинхронной машины с фазным ротором предварительно снимают кожух контактных колец и удаляют щетки; выпрессовывают подшипники с вала, пользуясь специальными съемниками с захватом за подшипник (см. рис. 161, *в*) или за крышку подшипника (см. рис. 161, *г*).

Разборку электрических машин постоянного тока серии П (см. рис. 43) производят, выполняя следующие основные операции:

снимают крышки с коробки зажимов и боковых сторон переднего подшипникового щита;

разъединяют проводники, соединяющие щеткодержатели с катушкой добавочного полюса;

отсоединяют провода, соединяющие щеткодержатели с контактами в коробке зажимов, а затем вынимают щетки из гнезд щеткодержателей;

защищают коллектор от механических повреждений, обматывая его листом картона, закрепляемом на коллекторе двумя бандажами из хлопчатобумажной ленты или шпагата;

отвертывают болты, крепящие подшипниковые щиты *5* к станине;

ввертывая отжимные болты в имеющиеся для них отверстия в подшипниковых щитах, выводят бортики щитов из расточек станины (при этом необходимо придерживать якорь за конец вала, чтобы предотвратить его падение и удар о нижний полюс машины);

сдвигают подшипниковые щиты с шарикоподшипников *6*;

выдвигают якорь из станины в сторону свободного конца вала *7* и вынимают его из станины.

При необходимости ремонта обмотки *4* якоря снимают вначале винтовым съемником шарикоподшипник, а затем и внутреннюю крышку подшипника, далее съемником снимают вентилятор и таким образом получают полный доступ к обмотке якоря.

В случае необходимости замены конденсаторов помехоподавляющего устройства машины снимают крышку коробки зажимов и, отвернув болты крепления доски зажимов к подшипниковому щиту, вынимают ее из коробки вместе с конденсаторами.

Разборку синхронных электрических машин (см. рис. 37) выполняют так:

разъединяют провода, соединяющие возбудитель со щеточным аппаратом;

отвертывают гайку стопорного винта, скрепляющего подшипниковый щит с капсулой роликоподшипника *15*, и вывертывают стопорный винт на три-четыре оборота;

отвертывают болты, крепящие подшипниковый щит к станине *9*;

выводят отжимными болтами задний подшипниковый щит *13* из расточки станины и снимают с капсулы подшипника;

отвертывают болты, крепящие подшипниковый щит *8* к станине, и выводят из расточки станины отжимными болтами, а затем опускают ротор на статор, предварительно положив под опускаемый ротор лист картона;

сдвигают подшипниковый щит *8* вместе со станиной *5* возбудителя с капсулы подшипника *26*;

выводят ротор синхронной машины вместе с якорем возбудителя из статора машины в сторону вентилятора.

Если для ремонта машины необходимо снять вентилятор, то отмечают его угловое положение по отношению к втулке, чтобы при сборке установить на прежнем месте и таким образом не нарушить балансировку ротора, а затем отвертывают болты, крепящие чашку вентилятора к втулке, и снимают вентилятор. При необходимости снять также и втулку вентилятора ее положение на валу отмечают, а затем, отвернув стопорный болт, стягивают с вала винтовым съемником.

Если надо заменить передний (со стороны возбудителя) подшипник синхронной машины, то снимают с вала якорь возбудителя с коллектором, захватывая его за вырезы в торце втулки, отвернув предварительно шейку на конце вала. Далее вывертывают винты, скрепляющие крышки шарикоподшипника с капсулой, и снимают капсулу вместе с наружной крышкой подшипника. После этого снимают с вала контактные кольца, а затем стаскивают подшипник.

При разборке явнополюсного ротора синхронной машины сначала снимают соединения между катушками полюсов и отвертывают винты крепления полюсов к втулке, а затем снимают полюса вместе с катушками. До начала разборки ротора рекомендуется пронумеровать полюса и отметить на втулке места их крепления, чтобы не нарушать балансировку ротора.

Нередко при ремонте синхронных машин возникает необходимость разборки и ремонта полюсной системы возбудителя. Чтобы снять полюса возбудителя, отвертывают винты, крепящие полюса к его станине, а затем снимают катушки. Если из станины вынимают траверсу со щеткодержателями, то предварительно отмечают ее угловое положение в станине, так как сдвиг траверсы с первоначального положения при сборке вызовет сильное искрение под щетками у работающего возбудителя.

Разборку электрической машины производят так, чтобы исключалась возможность повреждения исправных обмоток, коллектора, щеточного аппарата, вентилятора и других ее частей. Все исправ-

ные узлы и детали разобранных электрических машин должны быть сохранены для повторного их использования.

При поступлении в ремонт электрической машины с поврежденными обмотками демонтаж обмоток производят после разборки машины. Кроме описанных ранее методов при демонтаже обмоток применяют также специальные приспособления и станки для выдергивания поврежденных обмоток. Если же имеется возможность восстановить и повторно использовать провода поврежденной обмотки, то такая возможность должна быть учтена при разборке машины и использована.

Как уже отмечалось, если производят разборку электрических машин старых конструкций, то записывают данные, которые могут потребоваться при восстановлении обмоток или других деталей машины. К таким данным относятся сведения о размере и числе проводов обмотки в пазу, схеме соединения обмотки, величине вылета лобовых частей обмотки и зазорах между статором и ротором (между якорем и полюсами) и др. При этом снимают необходимые эскизы, так как сведения, требующиеся для ремонта таких машин, могут отсутствовать в типовых альбомах*.

Разборку электрических машин производят, используя имеющиеся подъемно-транспортные средства (краны, тельферы, электрокары, тележки, стропoвые устройства и др.); приспособления для распрессовки деталей, демонтажа обмоток и вывода роторов (якорей) из станины; электрифицированные инструменты; автогенные аппараты; ванны для мойки деталей; наборы гаечных ключей, напильников и других инструментов.

Сборка электрической машины после ее ремонта ведется, как правило, в последовательности, обратной разборке. Непосредственно перед началом сборки рекомендуется еще раз тщательно проверить правильность соединения проводников по схеме обмотки, целость и качество паек, отсутствие в обмотке обрывов и витковых замыканий. Такую проверку производят с помощью специальных приборов, например СМ или ЕЛ-1.

Перед сборкой машины убеждаются, что все ее части очищены, промыты, отремонтированы и испытаны. Сборку машины ведут осторожно, обращая внимание на то, чтобы не повредить особо чувствительных к механическим воздействиям деталей — обмоток, коллектора, щеткодержателей, смазочных колец подшипников скольжения и др. При сборке кроме обычных инструментов применяют специальные инструменты и приспособления, облегчающие выполнение отдельных операций сборки и повышающие производительность труда ремонтного персонала: торцевые ключи с рукоятками, электрифицированные и пневматические инструменты.

Сборку машины ведут в такой последовательности, чтобы каждая устанавливаемая деталь постепенно приближала машину к

---

* Типовыми альбомами называются сброшюрованные стандартные листы, содержащие сведения о конструкциях и технические данные электрических машин определенных типов.

конструктивно законченному состоянию и в то же время не вызывалась необходимость переделок и повторений операций. Собранную электрическую машину проверяют на прочность креплений всех деталей и сборочных единиц, отсутствие перекосов и заедания подвижных частей за неподвижные, легкость вращения ротора и возможность небольшого осевого его перемещения у машин с подшипниками скольжения.

Ротор двигателя, удерживаемый в центральном положении магнитным полем статора, должен иметь возможность перемещения («разбега») в осевом направлении. Это необходимо для того, чтобы вал ротора при малейшем смещении не стирал своими заточками торцы подшипников и не вызывал добавочных усилий или трения сопряженных частей двигателя. Величина осевого разбега ротора устанавливается в зависимости от мощности двигателя и должна составлять 2,5—4 мм при мощности 10—40 кВт и 4,5—6 м при мощности 50—100 кВт.

При сборке машины учитывают, что в процессе работы вал ротора вследствие нагрева удлиняется на величину Δl, мм, определяемую формулой $\Delta l = l \Delta t \alpha$, где l — длина вала между подшипниками, мм; Δt — повышение температуры при работе машины, °С; α — коэффициент линейного расширения.

Подшипники качения устанавливают так, чтобы один из них имел возможность перемещаться в подшипниковом щите на 0,5—1,5 мм в осевом направлении. В противном случае при удлинении вала из-за нагрева подшипники «заклинятся» и будут препятствовать вращению ротора машины.

При сборке проверяют расстояние лобовых частей обмотки от металлических частей корпуса. Оно должно быть не менее 10 мм у машин с номинальным напряжением 220 В и 15 мм у машин с напряжением до 500 В. При осмотре проверяют качество пленки покровного лака на обмотке — она не должна иметь наплывов, пузырьков, трещин, задиров.

Перед сборкой проверяют качество изоляции токоведущих частей машины (контактных колец, щеткодержателей и др.). Сопротивление изоляции токоведущих частей машины, проверяемое мегаомметром, должно быть не ниже величины, определяемой по формуле: $R_i = U/(1000 + P/100)$, где R_i — сопротивление изоляции, МОм; U — номинальное напряжение машины, В; P — мощность машины, кВт.

У отремонтированных и собранных электрических машин измеряются воздушные (междужелезные) зазоры, а затем производится пробный пуск.

Зазоры измеряют с помощью набора стальных пластин — щупов толщиной от 0,01 до 3 мм. У асинхронных машин измеряют зазор с обоих торцев между активной сталью ротора и статора. По величине зазоров можно сделать заключение о правильности сборки машины и ее пригодности к эксплуатации. Зазоры измеряют щупом путем подбора такой его толщины, при которой щуп без особого усилия проходит в зазор. Измерив зазоры в одном месте,

вынимают щуп и поворачивают ротор или якорь на 90°, снова измеряют зазоры при повороте ротора или якоря на 180, 270, 360°.

Для машин переменного тока обычно зазоры измеряют в трех точках; для машин постоянного тока — под каждым полюсом. Зазор должен быть одинаковым по всей окружности. Величины зазоров в диаметрально противоположных точках не должны отличаться друг от друга более чем на ±10% от среднего значения.

У машин с подшипниками скольжения измеряют также зазор между валом и вкладышем. Величины зазоров должны соответствовать паспортным данным электрической машины.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит подготовка к ремонту обмотки электрической машины?
2. Какова технология ремонта всыпных обмоток статоров машин переменного тока?
3. Как ремонтируются обмотки статоров машин переменного тока с жесткими катушками?
4. Каковы особенности ремонта обмоток фазных роторов асинхронных электродвигателей?
5. Перечислите способы намотки обмоток якорей мелких коллекторных машин.
6. Какова технология ремонта якорных обмоток коллекторных машин?
7. Как выполняют ремонт полюсных катушек машин постоянного тока и синхронных машин?
8. Расскажите о порядке сборки и разборки электрических машин и применяемых при этом устройствах и приспособлениях.

ГЛАВА X
КРЕПЛЕНИЕ, ПРОПИТКА И СУШКА ОБМОТОК. ОТДЕЛКА ЯКОРЕЙ

§ 55. Крепление обмоток якорей и роторов электрических машин. Ремонт бандажей

При вращении роторов и якорей электрических машин возникают центробежные силы, стремящиеся выбросить обмотку из пазов и отогнуть ее лобовые части. Следует отметить, что возникающие при вращении машины центробежные силы, как правило, весьма значительны. Так, при диаметре якоря 500 мм и частоте вращения 2000 об/мин каждому килограмму массы на окружности якоря соответствует центробежная сила, равная 1 т. Центробежные силы, как известно, пропорциональны величине вращающихся масс, радиусу вращения и квадрату частоты вращения. Отсюда следует, что особенно важно и необходимо прочно закрепить обмотки быстроходных машин, а также машин с достаточно большим диаметром ротора (якоря).

Как уже отмечалось, лобовые части обмоток удерживаются от отгибания под действием центробежных сил проволочными бандажами. Пазовые части обмотки крепятся как бандажами, так и клиньями. Способ крепления обмотки в пазах в значительной мере зависит от формы паза. При закрытых, полузакрытых и полуоткрытых пазах пазовые части обмоток крепятся, как правило, клиньями из дерева или различных твердых электроизоляционных материалов — текстолита, гетинакса, пластмассы. Обмотки роторов, расположенные в открытых пазах сердечника, крепятся либо клиньями, либо бандажами.

Пазовые клинья занимают значительную часть объема паза, что ограничивает возможность размещения здесь проводников обмотки. В этом отношении крепление пазовой части обмотки с помощью бандажей имеет некоторое преимущество. Однако в случае крепления клиньями давление на изоляцию пазовой части обмотки более равномерно и не столь велико, клинья хорошо защищают пазовую часть обмотки от загрязнения, в них отсутствуют потери на вихревые токи при вращении якоря в магнитном поле.

К недостаткам метода крепления пазовой части обмотки с помощью бандажей, которые чаще всего выполняются из луженой стальной проволоки, следует отнести: дополнительные потери энергии, которые увеличиваются в связи с возникающими в проволоке вихревыми токами; ухудшение коммутации коллекторных машин из-за наличия стальной проволоки в верхней части пазов (что искажает магнитное поле машины); трудность проведения частичного ремонта обмотки, так как освободить хотя бы один паз можно, сняв только все бандажи с сердечника. Применение для бандажей немагнитной стальной или бронзовой проволоки лишь частично улучшает положение (устраняется лишь второй из названных выше недостатков).

Недостатки крепления пазовой части обмоток бандажами обусловили преимущественное использование здесь пазовых клиньев. Бандажи для крепления пазовой части обмотки при открытых пазах сердечника используют лишь в машинах небольшой мощности с диаметром якоря до 300 мм. Более крупные машины выполняют всегда с пазовыми клиньями. Клинья применяют также для крепления в пазах статорных обмоток машин переменного тока, которые, хотя и не подвержены действию центробежных сил, но должны быть прочно закреплены в пазах для защиты от перемещений под действием электродинамических сил.

Бандажирование роторов производят с помощью специальных приспособлений, снабженных устройством для создания требуемого натяжения бандажной проволоки во время намотки бандажа.

Бандажи рассчитывают на максимальную частоту вращения (n_{max}), которую может развить ротор при работе электрической машины. Так, для асинхронных электродвигателей n_{max} принимается равным 1,2 номинальной частоты вращения $n_{ном}$, а для коллекторных машин — на 20% сверх наибольшей частоты вращения, указанной на табличке машины, но не менее 1,5 $n_{ном}$.

Расчет бандажей ведут, исходя из массы обмотки, отдельно для ее пазовой и лобовых частей.

Массу пазовой части обмотки, кг, определяют по формуле $G_п=0{,}0116abS_пzl$, где a и b — размеры сторон прямоугольного стержня обмотки, мм; $S_п$ — общее число стержней в пазу; z — число пазов; l — длина сердечника, мм.

Затем выбирают диаметр бандажной проволоки, руководствуясь следующими данными:

Диаметр ротора, мм . . .	100—200	201—400	401—600	601—1000	свыше 1000
Диаметр бандажной проволоки, мм	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0

Число витков всех бандажей, наматываемых на сердечник ротора, определяется по формуле, $w_{б.п}=1{,}2\ G_п(D-h_п)\ (n_{max}/1000)^2/(d^2R)$, где D — диаметр сердечника ротора, мм; $h_п$ — глубина паза сердечника ротора, мм; d — диаметр бандажной проволоки, мм; R — допускаемое механическое напряжение растяжению, принимаемое для бандажа из стальной проволоки равным 3000 кгс/см^2.

Масса лобовой части обмотки, кг, расположенной на одной из сторон ротора, определяется по формуле $G_л=0{,}012DabS_пZ/p$, где p — число пар полюсов ротора.

Число витков бандажа, наматываемых на лобовые части обмотки ротора, высчитывают по формуле $w_{б.л}=1{,}2G_л(D-h_п)(n_{max}/1000)^2/(d^2R)$.

При отсутствии бандажной проволоки требуемого диаметра ее заменяют проволокой другого близкого диаметра, изменяя при этом число витков бандажа пропорционально квадрату отношения диаметров. Так, например, бандаж из 30 витков, намотанных проволокой диаметром 1,2 мм, может быть заменен бандажом, выполненным проволокой диаметром 1,0 мм, но при этом количество витков нового бандажа составит $30\cdot\left(\frac{1{,}2}{1{,}0}\right)^2=30\cdot\frac{1{,}44}{1{,}0}\approx 43$ витка.

Ширина бандажа теперь будет не $30\cdot 1{,}2=36$ мм, а $43\cdot 1=43$ мм.

На электромашиностроительных заводах и на крупных электроремонтных предприятиях бандажирование обмоток роторов осуществляется с помощью бандажировочных станков различных конструкций. Довольно часто для изготовления таких станков используют старые токарные станки и снабжают их специальным приспособлением для натяжения бандажной проволоки при намотке бандажей (см. рис. 87). В ремонтной практике небольших цехов и мастерских для намотки бандажей хорошо зарекомендовал себя способ «петли» с тарированным грузом. При использовании этого способа нет надобности в специальных приспособлениях для натяжки бандажного провода, а усилие, требующееся для вращения ротора, невелико.

Для намотки бандажа заблаговременно заготовляют кусок бандажной проволоки требуемого диаметра и длины. Установив

бандажируемый ротор в козлах и временно закрепив один конец проволоки на участке, где должен располагаться крайний виток бандажа, вращают ротор по ходу часовой стрелки и наматывают на него вручную весь бандаж. Перебрасывают второй конец проволоки через блок с грузом и закрепляют этот конец на роторе. После этого вращают ротор против хода часовой стрелки, наблюдая за грузом. При вращении ротора груз, создавая натяжение проволоки, перемещается вдоль оси ротора от одного крайнего положения до другого (по ширине бандажа), а витки проволоки укладываются с необходимым натяжением.

Рекомендуется следующее натяжение стальной проволоки при бандажировании:

Диаметр проволоки, мм . .	0,8	1	1,2	1,5	2
Натяжение, кгс	30—40	50—60	65—80	100—120	160—200

Перед намоткой бандажей лобовые части обмотки осаживают ударами молотка через деревянную прокладку, чтобы они ровно располагались по окружности. При бандажировании ротора под бандаж укладывается изоляция из полос электрокартона, либо из миканита и электрокартона. Изоляционная прокладка под бандажом должна быть шире бандажа и выступать из-под него на 1—5 мм (в зависимости от размеров машины). На лобовых частях обмотки во избежание их вспучивания витки бандажа накладываются от сердечника ротора к краю лобовой части.

Если пазовая часть обмотки крепится бандажами, то на сердечнике ротора имеются, как правило, специальные канавки для бандажей (в этом месте листы пакета сердечника имеют меньший диаметр). Бандаж и скрепляющие его замки не должны выступать за наружную поверхность ротора. В тех редких случаях, когда на сердечнике ротора специальных канавок не предусмотрено, толщина и расположение бандажей должны быть точно такими же, какими они были до ремонта. Ширина бандажей должна быть не более 25—30 мм во избежание чрезмерно больших потерь на вихревые токи в сечении бандажей. Бандажи закрепляют скрепками (скобочками) из листовой белой жести. Скрепки на бандажах расставляют равномерно по окружности ротора с расстоянием между ними не более 150—160 мм.

Перед намоткой бандажа на лобовую часть сначала стягивают обмотку временными бандажами из 4—5 витков, накладываемых у сердечника якоря и петушков коллектора (под временные бандажи прокладывают полоски электрокартона). Обжав лобовую часть обмотки временными бандажами и придав ей требуемые размеры и форму, временные бандажи снимают и накладывают постоянные.

Под первый виток (рис. 162, *а*) бандажа кладут заготовленную изоляцию и требуемое по чертежу число полосок белой жести ши-

риной 10—15 мм для промежуточных скрепок (рис. 162. *б*), которыми соединяются витки бандажа. Для закрепления начала и конца бандажа кладут две полоски на расстоянии 10—30 мм одну от другой. Начало и конец бандажа должны перекрываться, чтобы на этих участках бандаж не был ослаблен на один виток. После намотки первого витка его огибают концом скрепки и на нее мотают следующие витки (рис. 162, *а*). Конец бандажа после запаивания и отрезания его от бухты вводят в заготовленное ушко

а)

б)

в)

Начало бандажа

Конец бандажа

г)

Рис. 162. Заделка концов проволочного бандажа:

а — начало бандажа, *б* — промежуточная скрепка, *в* — конец бандажа, *г* — расположение скрепок для начала и конца бандажа

4 3 2 1 5 6 7 8

Рис. 163. Электродуговой паяльник:

1 — стопорный винт, *2* — медный стержень, *3* — стальная обойма, *4* — электрод, *5* — электроугольная пластина, *6* — электрододержатель, *7* — асбестовая изоляция, *8* — провод для подключения паяльника к сварочному трансформатору

скрепки (рис. 162, *в*). Во избежание разматывания конец и начало проволоки загибают, как это показано на рис. 162, *г*.

Бандажи на пазовые части обмотки обычно наматывают одним куском проволоки, переходя от одного бандажа к другому. После закрепления начал и конпов бандажей переходные витки вырезают кусачками.

Полностью намотанные бандажи для увеличения прочности и предотвращения их разрушения центробежными усилиями, создаваемыми массой обмотки при вращении ротора, пропаивают по всей поверхности припоем ПОС-40 или ПОС-50. Пайку бандажей производят электродуговым паяльником (рис. 163) с медным стержнем диаметром 30—40 мм. Паяльник подключают к сварочному трансформатору. При пайке бандажей крупных машин для увеличения паяющей поверхности и улучшения условий нагрева и процесса пайки применяют электродуговые паяльники со сменными стержнями, наконечники которых имеют вогнутую форму.

В крупных быстроходных машинах проволочные бандажи наматывают на ротор в несколько слоев, причем для равномерного распределения механической нагрузки между слоями натяг проволоки

при намотке снижают в каждом последующем слое на 8—10%. Каждый слой многослойного бандажа наматывают и пропаивают отдельно. В некоторых типах машин, имеющих многослойные бандажи, пропаивают первый и последний слои, а также все только четные или нечетные слои бандажа. Чтобы уменьшить потери на вихревые токи, отдельные слои бандажа изолируют прокладками из асбестовой бумаги или гибкого миканита толщиной 0,3 мм.

В современных машинах малой и средней мощности вместо проволочных применяют, как правило, бандажи из нетканой стеклоленты — однонаправленных стеклянных нитей, пропитанных в термореактивных лаках ПЭ-953 для классов нагревостойкости изоляции А, Е и В или в лаке ПЭ-933 для класса нагревостойкости F.

Бандажи наматывают на бандажировочных станках, оборудованных устройством для натяжения стеклоленты, динамометром и тормозным устройством, позволяющим останавливать намотку при сохранении натяжения ленты. Перед намоткой стеклоленты ее конец закрепляют на якоре, прижав его к середине лобовой части 1,5—2 витками бандажа при неполном натяжении ленты. Увеличивают натяжение до 930—980 Н (до 95—100 кгс), под натянутую ленту заправляют край полосы из стеклоткани шириной примерно в 1,5 раза большей, чем ширина бандажа, и обертывают ее один раз вокруг лобовых частей якоря. Витки бандажной ленты накладывают на эту полосу с полным натяжением вполнахлеста от первого витка в сторону головок лобовых частей.

На границе бандажа наматывают несколько витков ленты один на другой. При этом образуется бортик, на который завертывают подложенную под бандаж полосу стеклополотна. Таким образом появляется упор, препятствующий сползанию витков ленты в сторону головок лобовых частей. Завернутый край стеклополотна прижимается последующими витками, образуя чехол для крайних витков ленты. Все остальные витки наматывают рядами вполнахлеста, размещая их между бортиком и торцем якоря. Конец последнего витка должен располагаться на середине по ширине бандажа. Для его закрепления на бандаж перпендикулярно ленте укладывают согнутую петлей тонкую проволоку и прижимают ее последними тремя витками ленты, которые наматывают один на другой, постепенно уменьшая натяжение примерно до половины первоначального. После этого полностью освобождают ленту и перерезают ее. Конец ленты закрепляют, продевая в петлю и протаскивая под последними витками. Последний виток пропаивают горячим паяльником. От нагрева лак, которым пропитана бандажная лента, запекается и прочно удерживает конец бандажа. Бандаж на лобовые части со стороны коллектора наматывают, не устанавливая чехла, так как роль бортика играют петушки коллектора.

После намотки бандажей из стеклоленты их запекают. Якорь выдерживают в печи при 145—150°С в течение 12 ч. За это время термореактивный лак, которым пропитана бандажная стеклолента, полимеризуется и бандаж превращается в монолитное кольцо,

прочно удерживающее лобовые части обмотки во время работы машины.

Потребное число витков бандажа из стеклоленты ЛСБ-F и ЛСБ-В может быть определено по формуле

$$w_c = 0{,}9 \cdot 10^7 \frac{G(D-h_л)}{SR_c} \left(\frac{n_{max}}{1000}\right)^2,$$

где S — сечение бандажной ленты, мм²; G — масса (с изоляцией) той части обмотки, для которой рассчитывается бандаж, кг; $R_c = 150 \cdot 10^6$ Па — допустимое механическое напряжение для стеклоленты.

В расчетное число витков не входят витки, которые накладываются с неполным натягом для закрепления начала бандажа и выравнивания поверхности лобовых частей.

При замене проволочного бандажа бандажом из стеклоленты число витков может быть определено по формуле $w_c = k_c w_{б.п}$, где k_c — по табл. 22, $w_{б.п}$ — число витков проволочного бандажа.

Таблица 22. Значения коэффициента k_c при толщине ленты 0,2 мм

Ширина ленты, мм	Значения k_c при диаметре проволоки, мм							
	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,6	2
10	0,20	0,28	0,50	0,78	1,13	1,77	2,01	3,14
15	0,13	0,19	0,33	0,52	0,75	1,18	1,34	2,10
20	0,10	0,14	0,25	0,39	0,56	0,88	1,00	1,57
25	0,08	0,11	0,20	0,31	0,45	0,71	0,80	1,26

Бандажи из стеклоленты толщиной 0,2 мм накладывают с натяжением:

Ширина ленты, мм	10	15	20	25
Натяжение, Н	750—800	800—1000	1000—1300	1500—1800

§ 56. Пропитка и сушка обмоток

В процессе эксплуатаци изоляция обмоток электрических машин и аппаратов выходит из строя чаще всего из-за снижения ее электрической прочности (изоляционной способности) под действием увлажнения, теплового старения или механического износа. Надежность работы обмоток определяется в значительной мере не только свойствами применяемых изоляционных материалов, но и качеством их пропитки электроизоляционными лаками. Пропитка

замедляет процессы теплового старения и увлажнения электроизоляционных материалов, заполняя поры, препятствует проникновению влаги. Пропиточные лаки, цементируя витки обмотки, снижают механический износ их изоляции. Благодаря пропитке повышается и электрическая прочность изоляции обмоток вследствие заполнения пор и капилляров лаками, имеющими значительно более высокую электрическую прочность, чем воздух. Поскольку теплопроводность пропиточных лаков, которые заполняют пустоты и капилляры в обмотках, значительно выше, чем у воздуха, то теплоотдача пропитанной обмотки при ее работе существенно лучше, чем у непропитанной, что снижает температуру перегрева обмоток. Пропитка обмоток и покрытие их соответствующими эмалями повышает химостойкость обмоток, их стойкость к воздействию пыли, смазочных масел и др.

Некоторые применяемые в обмотках изоляционные материалы (электрокартон, хлопчатобумажные нити и ленты и др.) способны впитывать в себя влагу, содержащуюся в окружающей среде. Такие материалы называют *гигроскопичными*. Наличие влаги в электроизоляционных материалах не только снижает электрическую прочность изоляции и ее сопротивление, но препятствует также глубокому проникновению пропиточных лаков в поры и капилляры изоляционных деталей обмотки. Поэтому процесс пропитки обычно включает в себя сушку обмотки непосредственно перед пропиткой. Сушку обмотки перед пропиткой можно не производить в случае, когда обмотка выполнена из влагостойких материалов— эмалированных проводов или проводов со стекловолокнистой изоляцией, а пазовая изоляция — из стеклоткани или других подобных ей по своим изоляционным свойствам негигроскопичных электроизоляционных материалов.

Выбор температуры и времени предварительной (до пропитки) сушки обмотки зависит от применения в ней изоляционных материалов — их нагревостойкости и теплостойкости — и должен быть таким, чтобы избежать ускоренного старения и деформации этих материалов. Чем выше класс нагревостойкости материалов, примененных в обмотке, тем выше может быть и температура при предварительной сушке обмотки. Более высокая температура позволяет ускорить процесс сушки. Так, например, при увеличении температуры предварительной сушки со 110—120° до 130—140°С продолжительность сушки может быть сокращена с 8 до 4 ч.

Обычно сушка обмоток до пропитки производится в специальных печах (камерах) в течение 3—6 ч при температуре 105—130°С для обмоток с материалами класса нагревостойкости А, при температуре 120—140°С при классе нагревостойкости Е, 120—150°С при классе В, 120—180°С при классе F и 180—220°С при классе Н.

Просушенные обмотки пропитывают в специальных пропиточных ваннах, устанавливаемых в отдельном помещении, оборудованном проточно-вытяжной вентиляцией и обеспеченном необходимыми средствами пожаротушения. Пропитка осуществляется обычно погружением пропитываемых обмоток или деталей с обмотками в за-

полненную лаком ванну, поэтому размеры ванны должны быть рассчитаны на габариты погружаемых деталей.

Для повышения проникающей способности лака и улучшения качества пропитки ванны оборудуют устройствами для подогрева лака.

Чаще других для пропитки обмоток используют масляные, масляно-битумные и кремнийорганические лаки. Пропиточные лаки должны обладать малой вязкостью и хорошей проникающей способностью, обеспечивающей глубокое проникновение во все поры пропитываемой изоляции. В них не должно быть веществ, оказывающих вредное воздействие на провода и изоляцию обмотки. Лаки должны длительно противостоять воздействию рабочей температуры, не теряя при этом изолирующих свойств.

Обмотки пропитываются один, два или большее число раз, в зависимости от условий эксплуатации (в частности, от окружающей среды), конструкции обмотки, примененных изоляционных материалов, свойств пропиточного лака, способа пропитки.

Перед пропиткой обмотки путем окунания (погружения) в лак ее следует прогреть до температуры 60—70°С. При первой пропитке предварительно нагретой обмотки время погружения составляет 20—30 мин. При последующих пропитках время погружения следует сократить до 10—15 мин. Пропитывая обмотки электрических машин, размещенные в пазах, обмотки следует устанавливать в таком положении, чтобы воздух лучше вытеснялся лаком, т. е. чтобы пазы располагались вертикально или наклонно.

При пропитке обмоток лаками без растворителей (типа КП) обмотки перед окунанием в лак нагревать не надо. При холодном погружении обмоток для пропитки время пропитки увеличивается вдвое. Эти лаки следует применять в том случае, когда требуется повышенная механическая прочность. Для пропитки изоляции усиленно-влагостойкого исполнения они не применяются из-за сравнительно низкой влагостойкости.

При пропитке обмоток необходимо чаще проверять вязкость лака в ванне, так как растворители постепенно улетучиваются и лаки густеют. При этом сильно снижается их способность проникать в изоляцию обмотки. Для сохранения требуемой проникающей способности лака в пропиточную ванну периодически добавляют растворитель, количество которого можно определять по формуле $P_{доб} = K_л \frac{П_в}{П_р}\left(\frac{H_в}{H_ж} - 1\right)$, где $P_{доб}$ — добавляемое количество растворителя, кг; $K_л$ — количество лака в пропиточной ванне, кг; $П_в$ — плотность лака в ванне, г/см³; $П_р$ — плотность растворителя, г/см³; $H_в$ — содержание нелетучих веществ в ванне, % по массе; $H_ж$ — желаемое содержание нелетучих веществ после разбавления, % по массе.

В ремонтной практике чаще других, особенно для пропитки обмоток электрических машин, используются лаки № 318, 447, 458, 460, МЛ-92, ГФ-95. Применяют также лаки без растворителя (термореактивные) типа КП-10, КП-18, КП-23, КП-24.

Как было указано выше, для более глубокого проникновения обычных пропиточных лаков в поры и капилляры изоляции обмоток в лаковую основу добавляют определенное количество растворителей. Во время сушки после пропитки растворители улетучиваются, а основа лака остается внутри изоляции. Так как после сушки часть полостей, первоначально занятых растворителями, вновь освобождается и на место улетучившихся растворителей поступает воздух, то таким методом нельзя добиться заполнения всех пор и пустот изоляции обмоток лаком.

Более совершенный метод введения пропиточных материалов в изоляцию обмоток — пропитка компаундными составами под давлением после предварительной сушки обмотки в вакууме. Обычно применяемые для этого пропиточные компаундные составы разжижаются при нагреве до определенной температуры (в зависимости от состава компаунда). При компаундировании обмотку сначала сушат в вакууме, чем достигается более полное удаление влаги из ее изоляции. Затем обмотку погружают в нагретый компаунд и повышают давление, что способствует более глубокому проникновению пропиточной массы в глубь изоляции.

Весь рабочий процесс компаундирования происходит в автоклаве, имеющем устройства для нагрева, отсоса воздуха и паров при создании вакуума и для увеличения давления при пропитке изделия компаундом. После пропитки изделия и соответствующей термообработки компаунд загустевает (полимеризуется) и при остывании образует единую монолитную массу. Крупные электроремонтные цехи и заводы обычно располагают установками для компаундирования обмоток.

Существуют также и другие методы пропитки изоляции обмотки изоляционными лаками и компаундами — капельный, поливной и др. Однако эти методы редко применяют в практике ремонта обмоток электрических машин и трансформаторов.

При скоростных ремонтах и в аварийных случаях обмотки пропитывают быстросохнущим масляно-смоляным лаком № 152, который высыхает при 20°C в течение 3—4 ч и создает пленку, обладающую хорошей влагостойкостью и достаточно высокой изолирующей способностью.

После пропитки обычными пропиточными электроизоляционными лаками обмотки сушат в специальных камерах (печах) подогретым воздухом (рис. 164). По способу нагрева сушильные камеры разделяют на камеры с электрическим, газовым или паровым обогревом, а по принципу циркуляции подогретого воздуха—с естественной или искусственной (принудительной) циркуляцией. По режиму работы различают сушильные камеры периодического и непрерывного действия.

В целях лучшего использования теплоты подогретого воздуха и улучшения режима сушки в камерах используется способ рециркуляции, при котором 50—60% отработавшего горячего воздуха вновь возвращается в сушильную камеру. Для сушки обмоток на большинстве электро емонтных заводов и в электроремонтных це-

хах промышленных предприятий применяют сушильные камеры с электрическим обогревом.

Сушильная камера с электрообогревом представляет собой сварную каркасную конструкцию из стали, установленную на бетонном полу. Стены камеры выложены кирпичом и слоем шлаковаты. Воздух, подаваемый в камеру, подогревается электрическими

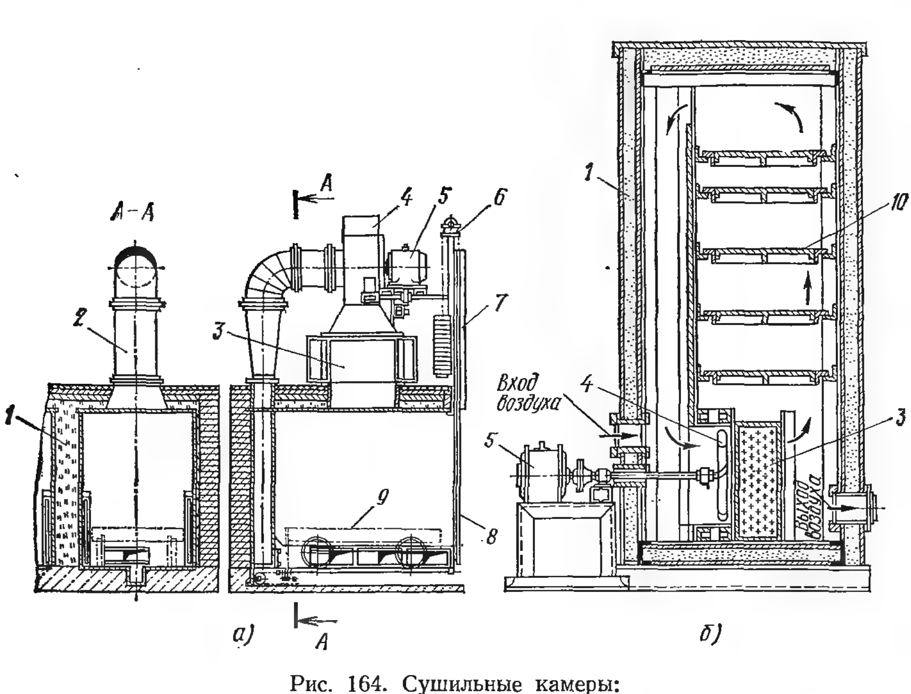


Рис. 164. Сушильные камеры:

а — с электроподогревом и рециркуляцией воздуха, *б* — с паровым подогревом и без рециркуляции воздуха; *1* — теплоизоляция, *2* — соединительный короб, *3* — калорифер, *4* — вентилятор, *5* — электродвигатель, *6* — механизм подъема двери, *7* — дверь камеры, *8* — направляющие, *9* — тележка, *10* — сетчатая полка

калориферами, состоящими из комплекта трубчатых электронагревателей (ТЭНов). Мощность калорифера — до 36 кВт. Загрузку и выгрузку большой сушильной камеры осуществляют с помощью тележки, движением которой (вперед и назад) можно управлять с пульта управления. Пусковые и включающие аппараты вентилятора и нагревательных элементов камеры сблокированы так, что элементы можно включить только после запуска вентилятора. Движение воздуха через калорифер в камеру происходит по замкнутому циклу.

В первый период сушки (1—2 ч после начала), когда содержащаяся в обмотках влага быстро испаряется, отработавший воздух из камеры полностью выпускается в атмосферу. В последующие часы сушки часть подогретого отработавшего воздуха, содержа-

щего небольшие количества влаги и паров растворителя, возвращается в камеру. Максимальная температура в камере — 200°С, полезный внутренний объем определяется габаритами ремонтируемых изделий.

Во время сушки обмоток ведется непрерывный контроль за температурой в сушильной камере и выходящего из камеры воздуха. Время сушки зависит от конструкции и габаритов изделий, примененных в обмотках изоляционных материалов, свойств пропиточного лака и используемых растворителей, тепловой мощности калорифера.

Обмотки устанавливают в сушильной камере таким образом, чтобы они лучше омывались горячим воздухом.

Процесс сушки разделяется на две стадии: разогрев обмоток для удаления растворителя лака и запекание лаковой пленки. На первой стадии обмотка разогревается до 100—110°С. Более высокая температура на этой стадии сушки нежелательна, так как может произойти запекание лаковой пленки при неполном удалении растворителя, что обычно приводит к пористости пленки и ухудшению изоляционных свойств. На второй стадии сушки пропитанных обмоток, т. е. при запекании лаковой пленки, температуру обмотки повышают до 130 и даже до 140°С (для изоляции класса А) на 2—3 ч.

Критерием окончания процесса сушки является стабильное достаточно высокое для данного изделия сопротивление изоляции обмотки.

Если обмотка плохо поддается сушке (сопротивление изоляции после нескольких часов сушки остается низким), то обмотке дают возможность остыть до температуры, превышающей на 10—15° температуру окружающего воздуха, а затем вновь сушат. При остывании следят за тем, чтобы температура обмотки не стала равной температуре окружающего воздуха, так как при этом на ней осядет влага и обмотка отсыреет.

Лобовые части обмоток электрических машин после сушки обычно покрывают тонким слоем покровной эмали, которая создает дополнительную тонкую гладкую пленку, защищающую обмотку от пыли и грязи, а также повышающую механическую прочность и влагостойкость обмотки. Чаще всего используется покровная эмаль ГФ-92ХС, ГФ-92ХК, ГФ-92ГС.

Лучшее качество пленки получается при нанесении покровной эмали методом пульверизации. Можно также наносить покровную эмаль с помощью кисти. Для более прочной связи покровной эмали с пропитанной обмоткой наносить эмаль следует на обмотку, прогретую до температуры 50—70°С. Хорошее качество покровной пленки обычно получается при толщине 0,1—0,15 мм. Более толстый слой, полученный однократным нанесением покровной эмали, плохо просыхает, малоэластичен и хуже связан с обмоткой из-за остающегося в глубине растворителя. Для получения более толстого слоя из покровной стали производят многократное покрытие, предварительно высушив каждый слой. Для сушки покровной эма-

ли обмотку помещают в сушильную камеру и сушат при температуре 60—80°С.

На крупных электроремонтных предприятиях пропитку и сушку выполняют с помощью специальных пропиточно-сушильных конвейерных установок.

Следует отметить, что пропиточные лаки, эмали и растворители токсичны и пожароопасны, а поэтому должны храниться в специальных помещениях при температуре не ниже 8 и не выше 25°С. Склад, где хранятся эти материалы, должен быть оборудован вентиляцией и оснащен необходимыми средствами пожаротушения. Всю работу с лаками, эмалями и растворителями следует выполнять в брезентовых рукавицах или в специальных перчатках, защитных очках и резиновом фартуке. Разводят лаки в количествах, удовлетворяющих только текущие потребности. Запасы разбавленных лаков не делают.

§ 57. Отделка якорей

Отделка якорей состоит из ряда операций, которыми завершается их ремонт. Большинство из этих операций выполняется после всех работ, связанных с обмоткой (укладки обмотки, ее закрепления, пайки схемы, наложения бандажей, пропитки и сушки). Однако часть операций отделки должна быть выполнена до перечисленных выше работ, например заделка миканитовых манжет коллекторов арочного типа может быть выполнена лишь до укладки обмотки (сразу же после насадки отремонтированного коллектора на вал).

В коллекторе арочного типа давление от нажимных конусов передается только на поверхность выступа ласточкина хвоста коллекторных пластин, поэтому между внутренней поверхностью пластин и миканитовыми манжетами остаются небольшие щели.

При работе машины в щели между миканитовыми манжетами и коллекторными пластинами попадает графитная пыль от щеток, что приводит к замыканию между коллекторными пластинами. Пыль от щеток осаждается также на выступающих концах миканитовых манжет, образует проводящие мостики между торцами нажимных конусов и коллекторными пластинами, что выводит машину из строя. Кроме того, при работе машины выступающие части миканитовых манжет расслаиваются и выветриваются, что также приводит к нарушению изоляции коллектора.

Для предотвращения указанных выше отрицательных явлений на выступающие части миканитовых манжет коллектора накладывают бандажи из киперной ленты или шпагата (с обеих сторон коллектора). Поверхность бандажей, торцевые стороны коллекторных пластин и оставшиеся свободными поверхности миканитовых манжет покрывают слоем эмали или лака для придания им гладкой блестящей поверхности, на которой щеточная пыль не может задерживаться. Лакировка производится обычно путем трех-четырехкратного покрытия изоляционного пояска, торцев коллекторных

пластин и шайбы коллектора глифталевой эмалью с последующей сушкой каждого слоя в сушильной камере. Перед наложением последнего слоя эмали поверхность изоляционного пояска следует очистить стеклянной бумагой.

Отремонтированный коллектор насаживается на вал после предварительной обработки (если она требуется) на токарном станке. Чистовую обработку коллектора (проточку, шлифовку и полировку поверхности) производят после окончания всех работ, связанных с обмоткой, включая ее пропитку и сушку. При чистовой обработке коллектора особое внимание должно быть уделено обеспечению минимального биения коллектора при его работе, так как даже сравнительно небольшие биения (порядка 0,05—0,06 мм) весьма неблагоприятно сказываются на работе щеточного аппарата, особенно в высокоскоростных машинах.

Окончательную обработку рабочей поверхности коллектора обычно производят на токарном станке после пропитки и сушки якоря. Конец вала поддерживается вращающимся центром станка, а шейка вала опирается на люнет, чем достигается концентричность обработанной поверхности коллектора и шейки вала. Благодаря этому при вращении якоря в подшипниках машины после ее сборки коллектор будет иметь небольшое биение. Коллекторы особо быстроходных машин небольшой мощности зачастую обрабатывают при насаженных на вал якоря своих подшипниках, причем наружные кольца подшипников зажимают в станке, а якорь с коллектором приводят во вращение отдельным ременным приводом, связанным с сердечником якоря.

При чистовой обработке (проточке) коллектор обрабатывают резцом с пластинками из твердых сплавов при высоких скоростях резания с минимальной подачей и глубиной резания, что позволяет получить более гладкую поверхность коллектора. При проточке коллектора на станке необходимо тщательно выверить якорь, проверяя биение индикатором.

В процессе эксплуатации периодически приходится обтачивать коллектор машины после того, как поверхность его делается неровной из-за неравномерного износа. Коллекторы машин малой и средней мощности обтачивают на токарных станках после разборки машины. Разборка же крупных машин связана зачастую с большими трудностями и длительным простоем дорогостоящего оборудования. В этих случаях обточку коллектора выполняют без разборки машины. Якорь вращают в собственных подшипниках с помощью вспомогательного двигателя, соединяя его с муфтой ремонтируемой машины. Если установка вспомогательного двигателя встречает трудности, то можно вести обточку коллектора при вращении якоря его собственным крутящим моментом. Для этого к машине подводят пониженное напряжение и устанавливают скорость на окружности коллектора порядка 120 м/мин. Из всех щеткодержателей вынимают рабочие щетки во избежание повреждения их стружками и в один из них на каждом бракете вставляют изношенные щетки. Резец устанавливают по возможности точно на

геометрической нейтрали машины и изолируют от суппорта прокладками из картона или гетинакса. В этих случаях применяют специальные переносные суппорты, которые устанавливают на фундаментной плите и жестко закрепляют во избежание вибраций при работе.

При работе коллектора медные пластины истираются быстрее, чем миканитовые изоляционные прокладки между ними. Миканитовая изоляция, выступая над поверхностью коллекторных пластин, приводит к вибрации щеток, нарушению их контакта с коллектором, в результате чего появляется сильное искрение и машина может выйти из строя. Чтобы избежать этого, после чистовой обточки коллектора его продороживают.

Продороживание состоит в том, что миканитовая изоляция между коллекторными пластинами углубляется на 0,4—1,0 мм (в зависимости от размера коллектора) путем вырезания миканита. Поверхность коллектора при этом покрывается продольными канавками между коллекторными пластинами — дорожками, откуда и пошло наименование этой операции — продороживание. В ремонтной практике коллекторные машины малой и средней мощности большей частью продороживают вручную, с помощью пилки, которую изготовляют из кусочка ножовочного полотна, по толщине равного толщине миканита. Полотно закрепляют винтами в деревянной оправке. Во избежание попадания медной стружки в обмотку якорь при продороживании коллектора следует закрыть чехлом. После пропиливания дорожек в миканите шабером снимают грани коллекторных пластин так, как это показано на рис. 41, *б*.

Для продороживания коллекторов крупных машин применяют переносные ручные фрезы. Фреза при работе направляется роликом, катящимся по соседней канавке, а подача фрезы осуществляется вручную. Толщина фрезы берется равной толщине миканитовых прокладок между коллекторными пластинами, а диаметр должен быть возможно меньшим, так как фреза большого диаметра может упираться в петушки коллектора.

Следует отметить, что в последнее время на ряде однофазных приводных быстроходных коллекторных двигателей переносных электроинструментов мощностью от 0,2 до 2,0 кВт при частоте вращения 12 000—18 000 об/мин применяются коллекторы на пластмассе (см. рис. 41, *г*) со слюдинитовыми межламельными изоляционными прокладками. Скорости износа слюдинита и меди при работе коллектора примерно одинаковы, поэтому такой коллектор не продороживают, а оставляют гладким, что благоприятно сказывается на работе щеток, которые в машинах этого типа имеют малую ширину.

Для удаления следов резца, которые образуются при обточке коллектора, а также неровностей и заусенцев, появляющихся на коллекторе при его продороживании, коллектор подвергают шлифовке, а затем полировке. Коллектор шлифуют абразивными кругами, состоящими из материала, не проводящего ток. Наибольшее рас-

пространение получили шлифовальные круги из искусственного материала, в состав которого входит пемза. Применяется также пемза, пропитанная керосином. Поверхность применяемых для шлифовки коллекторов абразивных кругов должна быть строго цилиндрической, так как иначе после шлифовки появятся биения коллектора.

Окончательная отделка коллектора заключается в полировке его поверхности с помощью деревянных колодок, обработанных по радиусу цилиндрической поверхности коллектора и покрытых стеклянной бумагой мелких номеров или специальной полировочной пастой.

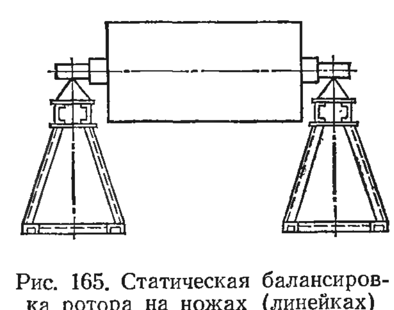


Рис. 165. Статическая балансировка ротора на ножах (линейках)

В практике ремонта и эксплуатации машин операции шлифовки и полировки поверхности коллектора зачастую объединяют. Иногда достаточно проводить только полировку коллектора, снимая с него нагар и удаляя появившиеся шероховатости.

Заключительной операцией отделки якоря является его балансировка. Якорь — вращающаяся часть электрической машины и его вращение происходит спокойно без излишних вибраций, если центр тяжести лежит на оси вращения. В противном случае появляются вибрации, биения. Если машина не закреплена на фундаменте, она начинает «ползти».

Хотя якорь машины имеет цилиндрическую форму и центр тяжести его должен быть на оси вращения, однако из-за неизбежной несимметрии, вносимой лобовыми частями обмотки, изоляцией, бандажами, на практике центр тяжести якоря, как правило, не совпадает с его осью вращения. Чтобы добиться совпадения центра тяжести с осью вращения, на якоре в определенных местах приходится размещать дополнительные грузики или снимать часть металла, облегчая якорь в определенном месте. Этот процесс называют *балансировкой.*

Различают статическую балансировку, выполняемую при неподвижном якоре на ножах (линейках), и динамическую балансировку, которая выполняется при вращении балансируемой детали.

При статической балансировке (рис. 165) на строго горизонтально расположенные балансировочные ножи (линейки) кладут якорь (ротор) электрической машины, причем вал якоря опирается на ножи и может свободно поворачиваться на них (перекатываться). Под действием силы тяжести якорь повернется на балансировочных ножах таким образом, что более тяжелая его часть окажется внизу, т. е. центр тяжести расположится под осью вращения. Для уравновешивания небаланса над осью вращения необходимо разместить балансировочный груз. Чем больше расстояние от оси вращения до балансировочного груза, тем меньше тре-

буемая масса этого груза. Балансировочный груз подбирают таким образом, чтобы добиться уравновешивания, т. е. чтобы при любом положении балансируемой детали на ножах она оставалась в покое и не перекатывалась.

Для длинных якорей и роторов быстроходных машин статической балансировки недостаточно, так как центр тяжести несбалансированного ротора и балансировочный груз после статической

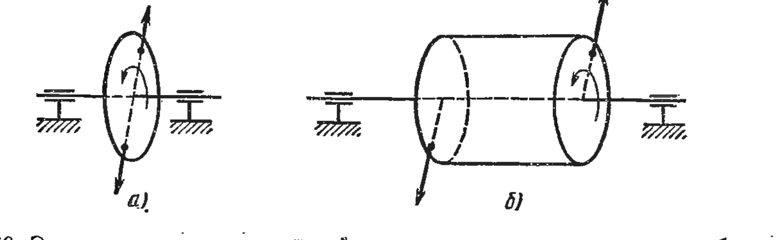


Рис. 166. Эскиз для пояснения понятий статического и динамического небаланса: *а* — отбалансированный диск, *б* — статически отбалансированный цилиндр (динамический небаланс остается)

балансировки могут располагаться на разных расстояниях по длине машины, из-за чего при вращении ротора под действием центробежных сил возникает вращающий момент, направленный вдоль машины, вызывающий ее вибрацию при работе (рис. 166). Такой небаланс, вызываемый действием центробежных сил, не может быть уравновешен путем статической балансировки. Эта задача выполняется при динамической балансировке, при которой балансировочный груз крепится с таким расчетом, чтобы при вращении он создал момент, равный по значению и обратный по направлению моменту небаланса.

Перед проведением динамической балансировки следует проверить рабочие поверхности ротора (шейки и концы вала, коллектор, контактные кольца, сердечник ротора) на отсутствие биения и при необходимости это биение устранить. Если для установки ротора на балансировочный станок применяют какие-либо оправки, то их нужно проверить на отсутствие биения и небаланса. На роторе не должно быть плохо закрепленных деталей, так как в этом случае балансировка невозможна.

Динамическая балансировка роторов небольших и средних машин производится на специальных балансировочных станках; применяемые на электромашиностроительных заводах современные автоматические балансировочные станки оборудованы сложными электронными и электромагнитными схемами, которые после первого же пуска точно указывают место крепления и величину необходимого для балансировки груза. Однако эти станки стоят достаточно дорого и рассчитаны на сравнительно узкий (по массе, длине и диаметру) диапазон балансируемых изделий, поэтому такие

станки редко применяют в ремонтной практике, чаще используют сравнительно простые балансировочные станки, принцип действия которых может быть уяснен с помощью схемы, представленной на рис. 167.

Для проведения динамической балансировки ротор *1* устанавливают в подшипниках *2* станка (рис. 167, *а*). Эти подшипники укреплены на плоских пружинах *4* и могут быть зажаты между упорами *3* или совершать свободные колебания вместе с пружиной.

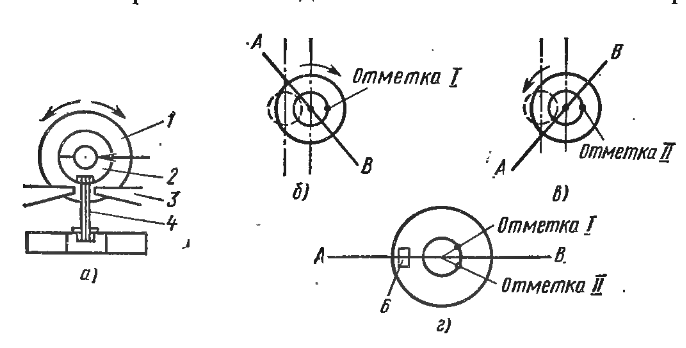


Рис. 167. Схемы динамической балансировки:
а — схема станка, *б* — отметка при вращении якоря по часовой стрелке, *в* — отметка при вращении против часовой стрелки, *г* — определение места укрепления балансировочного груза

Ротор с помощью электродвигателя приводится во вращение. Появляющаяся при этом центробежная сила небаланса, которая направлена радиально, будет раскачивать подшипники станка. Для проведения балансировки один подшипник закрепляется неподвижно, а другой освобождается и под действием небаланса колеблется. На какой-либо точно обработанной поверхности ротора, концентрической с осью вала, делают цветным карандашом отметку в точке наибольшего отклонения ротора. Однако по этой точке еще нельзя точно определить место, где находится небаланс ротора, так как наибольшее отклонение ротора получается с некоторым запаздыванием по отношению к положению небаланса. Это запаздывание зависит от отношения частоты вращения к собственной частоте колебаний ротора на опорах.

При совпадении числа оборотов ротора с частотой собственных колебаний происходит резонанс и колебания приобретают наибольший размах. При резонансе величина запаздывания близка к 90°, и, следовательно, место небаланса на роторе может быть найдено отсчетом от середины отметки 90° вперед по направлению вращения, а место установки балансировочного груза определится путем отсчета 90° против направления вращения.

Если балансировку производят при частоте вращения меньше резонансной, то для определения положения небаланса делают две отметки (отметки *I* и *II* на рис. 167, *б*, *в*, *г*) карандашами разных цветов при разных направлениях вращения. Плоскости небалан-

сов на рисунках обозначены линиями AB, которые сдвинуты относительно отметок на одинаковые углы в направлении вращения ротора, обозначенном стрелками. На рис. 167, г линии AB совмещены и поэтому отметки I и II оказались сдвинутыми по окружности. Тогда небаланс находится посередине между отметками, а балансировочный груз $Б$ устанавливают в диаметрально противоположной точке окружности ротора. Величину груза подбирают опытным путем — до исчезновения вибраций подшипника. После того как отбалансирована одна сторона якоря, этот подшипник закрепляют неподвижно, а подшипник другой стороны освобождают и аналогичным образом производят балансировку здесь. Затем повторяют балансировку первой стороны и в случае необходимости устанавливают дополнительный груз.

Балансировку роторов крупных машин производят на месте в собственных подшипниках. Для этого машину запускают вхолостую и замеряют вибрацию подшипников с помощью специальных приборов — виброметров. При отсутствии виброметров измеряют вибрацию индикатором, укрепленным на массивном основании. Прижимая щуп индикатора к колеблющейся детали, по качаниям стрелки определяют величину размаха колебаний. Следует, однако, отметить, что процесс динамической балансировки роторов крупных машин в своих подшипниках является достаточно сложным и требует от исполнителей весьма высокой квалификации и большого опыта. Обычно эта работа выполняется под непосредственным руководством и при участии инженерного персонала.

Статической балансировке подвергать следует роторы и якоря всех электрических машин. Динамическая балансировка производится для роторов и якорей быстроходных машин.

В современных электрических машинах при конструировании предусматриваются специально места для крепления балансировочных грузов: канавки в обмоткодержателях, диски на валах фазных роторов асинхронных двигателей, балансировочные кольца на якорях быстроходных коллекторных двигателей электроинструмента и т. д. В некоторых случаях в якорях малых машин в качестве балансировочных грузов используют кусочки меди, забиваемые в пазы на место клиньев, или напаивают припой на намотанные бандажи. Однако эти способы не могут быть рекомендованы, так как в первом случае замыкаются шихтованные листы якоря, а во втором — возможно ослабевание бандажей в результате дополнительной нагрузки, вызванной центробежной силой, действующей на балансировочный груз во время работы машины.

В заключение следует сказать, что при отделке якорей (и роторов) обычно всю наружную поверхность их сердечников окрашивают серой покровной эмалью, что создает на поверхности водонепроницаемую пленку, защищающую обмотку от проникновения влаги, а остальные поверхности — от ржавления. Окраску выполняют пульверизатором или кистью, после чего роторы сушат. Продолжительность и режим сушки зависят от сорта эмали и вида изоляции обмотки ротора (якоря).

Контрольные вопросы

1. Каким образом закрепляют пазовые и лобовые части обмоток якорей и роторов электрических машин?
2. Перечислите достоинства и недостатки крепления пазовой части обмотки с помощью бандажей.
3. Какова технология ремонта бандажей якорей и роторов электрических машин?
4. Для чего нужны пропитка и сушка обмоток электрических машин и аппаратов?
5. Из каких основных операций состоит отделка якорей?
6. Для чего нужны шлифовка, полировка и продороживание коллекторов? Какова технология выполнения каждой из этих операций?
7. Какая разница между статической и динамической балансировкой якорей (роторов) и в каких случаях она производится? Какова технология проведения балансировки?

ГЛАВА XI
КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 58. Виды и содержание контроля и испытаний при ремонте обмоток электрических машин и трансформаторов. Некоторые виды специальных приборов и устройств

При ремонте обмоток электрических машин и трансформаторов возникает необходимость в проведении целого ряда различных испытаний:

предремонтных — для установления или уточнения возникших неисправностей, а также характера и объема требуемого ремонта;

промежуточных пооперационных — для проверки правильности и качества выполненных в процессе ремонта технологических операций, а также выявления возможных скрытых дефектов в изготовленных элементах обмотки;

послеремонтных — для проверки качества отремонтированной электрической машины или отремонтированного трансформатора.

При проведении перечисленных выше испытаний помимо обычных измерительных приборов общего назначения (вольтметров, амперметров, ваттметров, тахометров и т. д.) пользуются специальными приборами и устройствами.

Универсальный мост сопротивления (рис. 168) применяется для измерения сопротивления обмоток или их элементов. Выводы измеряемой обмотки или ее части присоединяются к зажимам *2* моста. Затем поворотом рукояток *1* переключателей сопротивлений подбирают сопротивление, близкое к измеряемому. После этого нажимают одну из кнопок *3* с надписью «Грубо» и стрелка прибора отклоняется вправо или влево от среднего положения. На циферблате *4* имеется шкала с нулем посередине.

Если стрелка отклонится вправо от среднего положения, то надо увеличить сопротивление, и наоборот. После нескольких поворотов рукояток *1* переключателей сопротивлений стрелка при

нажиме сначала на кнопку с надписью «Грубо», а затем и на кнопку с надписью «Точно» установится на нуль. Тогда по цифрам на дисках переключателей определяют измеряемое сопротивление. Питание моста осуществляется от гальванических элементов или аккумуляторов *5*.

Специальные щупы (рис. 169) используют при измерении сопротивления обмотки якоря или ее элементов методом амперметра и вольтметра. Щупы прижимаются к двум пластинам коллектора. Каждый щуп имеет две иглы: *1* — жестко связана с изоляционной колодкой, *2* — выдвигается спиральной пружиной *3*. К иглам *1* присоединен милливольтметр *V*, а к иглам *2* — цепь питания, состоящая из аккумуляторной батареи *7*, рубильника *5*, предохранителей *6*, амперметра *A* и реостата *4*. Реостатом устанавливают значение тока, при котором отклонения стрелок приборов будут заметны.

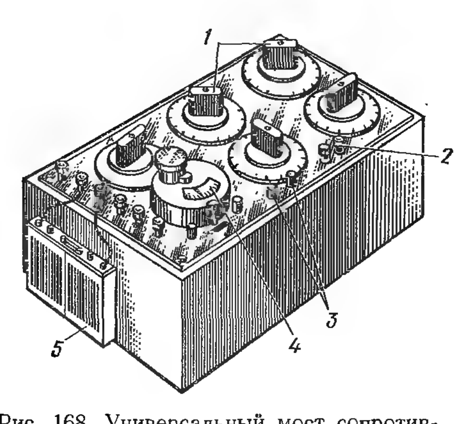


Рис. 168. Универсальный мост сопротивлений:

1 — рукоятки переключателей сопротивлений, *2* — зажимы для присоединения измеряемого сопротивления, *3* — кнопки «Грубо» и «Точно», *4* — циферблат прибора, *5* — элементы питания

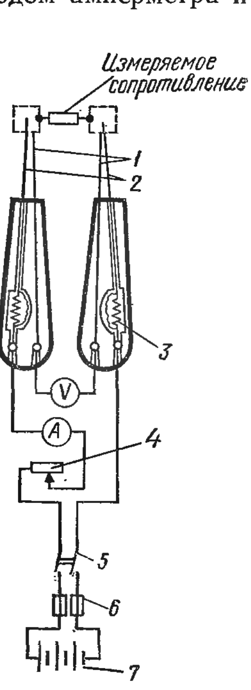


Рис. 169. Специальные щупы:

1 и *2* — иглы, *3* — пружина, *4* — реостат, *5* — рубильник, *6* — предохранители, *7* — аккумуляторная батарея

Двойные иглы щупов сделаны для предохранения милливольтметра от перегорания при случайном отключении одного из щупов от коллекторной пластины, когда на милливольтметр приходится все напряжение аккумулятора. При двойных иглах милливольтметр отключится раньше, чем игла цепи питания. Кроме того, двойные иглы исключают влияние непостоянства сопротивления контактов игл питания на результаты измерений.

Мегаомметр используется для измерения сопротивления изоляции обмоток по отношению к корпусу и между отдельными обмотками. Для электрических машин и трансформаторов с номиналь-

ным напряжением до 500 В применяют мегаомметр напряжением 500 В, для машин и трансформаторов с номинальным напряжением свыше 500 В — мегаомметры на 1000 и 2500 В (в зависимости от напряжения, на которое рассчитана изоляция обмотки).

Мегаомметр представляет собой переносной прибор, состоящий из генератора постоянного тока и измерительной системы, заключенных в общем пластмассовом корпусе. На рис. 170, *а* показано устройство наиболее распространенного типа мегаомметра М1101. При вращении ручки *7* по часовой стрелке вращение через две пары шестерен *6* передается якорю *1* генератора, представляющему собой восьмиполосный постоянный магнит. Пружина *5* служит для расцепления механизма при вращении ручки против часовой стрелки. Вокруг магнита расположена цилиндрическая многовитковая катушка *4*, намотанная из тонкого провода. Катушка заключена в тон-

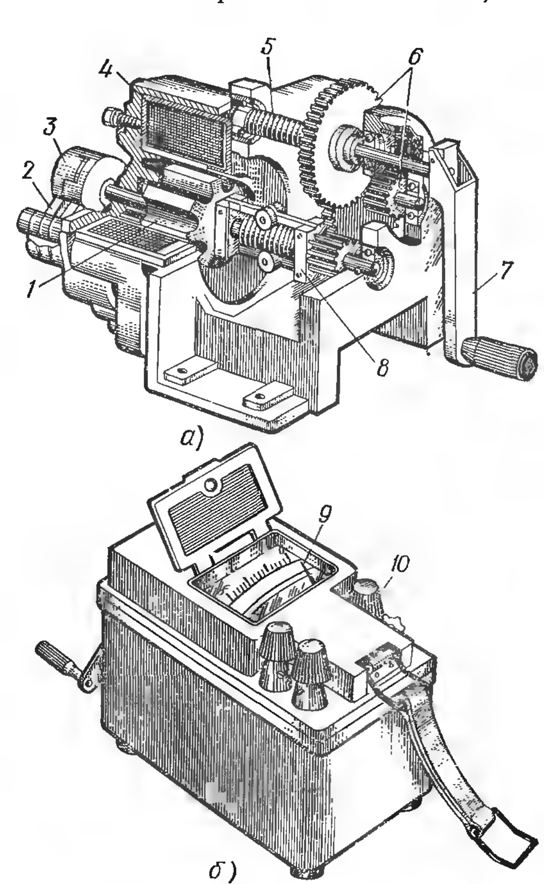


Рис. 170. Мегаомметр М1101:
а — внутренее устройство, *б* — общий вид; *1* — якорь генератора, *2* — щетки, *3* — пластины коллектора, *4* — цилиндрическая катушка, *5* — пружина расцепляющего механизма, *6* — шестерни, *7* — ручка, *8* — центробежный регулятор, *9* — стрелка, *10* — ручка переключателя пределов измерений

костенный магнитопровод, наконечники которого загнуты внутрь нее. Через эти наконечники и магнитопровод замыкается магнитный поток, создаваемый полюсами якоря. При вращении якоря в катушке создается переменное напряжение. Концы обмотки присоединены к пластинам *3* коллектора, выпрямляющего переменный ток.

По коллектору скользят щетки *2*, от которых ток передается рамкам измерителя через систему сопротивлений. С этими рамками на одной оси укреплена стрелка *9* (рис. 170, *б*), угол отклонения которой зависит от измеряемого сопротивления. Шкала при-

бора градуирована в мегаомах и килоомах. Переключение пределов измерения производится поворотом круглой ручки *10* на крышке прибора.

Напряжение генератора влияет на показания прибора и зависит от частоты вращения якоря. Она поддерживается постоянной центробежным регулятором *8* (см. рис. 170, *а*). Если ручку прибора вращать со скоростью, большей номинальной, то грузики под действием центробежной силы расходятся и отсоединяют якорь генератора от привода.

Перед тем как присоединить провода от мегаомметра к объекту измерения, необходимо снять напряжение с зажимов объекта и разрядить его от емкостного заряда. При измерении мегаомметром сопротивления изоляции обмотки относительно корпуса, провод от одного зажима мегаомметра присоединяют к выводу обмотки, а от другого зажима — к корпусу машины или замыкают на землю. При измерении сопротивления изоляции между обмотками (между фазами) зажимы присоединяют к выводам обмоток.

Вращая рукоятку привода с частотой 120 об/мин или с несколько большей, определяют по шкале сопротивление изоляции.

Соединительные провода должны иметь необходимую длину и хорошую изоляцию. Провода в оплетке применять не следует, так как они легко увлажняются. Желательно располагать провода на весу, чтобы исключить шунтирующее действие сопротивления изоляции соединительных проводов на показания прибора. Поверхность мегаомметра должна быть сухой и чистой.

Перед измерением следует проверить исправность мегаомметра. Для этого прибор устанавливают в горизонтальном положении, зажимы замыкают накоротко, вращают ручку привода генератора и проверяют совпадение стрелки с нулевой отметкой шкалы. Затем при разомкнутых зажимах таким же образом проверяют совпадение стрелки с отметкой ∞ (бесконечность).

Аппараты СМ-1, СМ-2 и ЕЛ-1 являются совершенными и достаточно универсальными устройствами для предремонтных, промежуточных пооперационных и заключительных проверок обмоток. Ими пользуются для выявления витковых замыканий и обрывов в обмотках электрических машин, нахождения паза с короткозамкнутыми витками, проверки правильности соединения обмоток по схеме, маркировки выводных концов фазных обмоток.

Принцип действия аппаратов СМ и ЕЛ следующий. К аппарату присоединяют две обмотки, в которые поочередно посылаются импульсы напряжения высокой частоты. Если параметры присоединенных обмоток совершенно одинаковы, т. е. равны их полные сопротивления (геометрическая сумма активного и индуктивного сопротивлений), то одинаковыми будут также и импульсы тока в этих обмотках. При таком положении соответствующие кривые на экране электронно-лучевой трубки, относящиеся к двум сравниваемым цепям, например к разным фазам обмотки, будут одинаковыми и сольются. Если же в одной из обмоток есть какой-либо дефект, отражающийся на значении ее полного сопротивления, то

импульсы тока, проходящего через испытываемые обмотки, будут различны и на экране трубки будут видны не одна, а две кривые. Каждому дефекту соответствует своя характерная форма кривой, которая позволяет определить вид неисправности в обмотке. Аппараты обладают высокой чувствительностью.

Для ремонтной практики наиболее удобным является аппарат ЕЛ-1, показанный на рис. 171, *а*. Аппарат помещен в металлический кожух с ручкой для переноски. На передней панели аппарата расположены рукоятки управления, зажимы для присоединения испытываемых обмоток или присоединения приспособления для нахождения паза с короткозамкнутыми витками, экран электронно-лучевого индикатора. На задней стенке расположены предохранитель и колодка для присоединения шнура и подключения аппарата к сети.

Рис. 171. Электронный аппарат для проверки обмоток электрических машин ЕЛ-1 (*а*) и приспособление для обнаружения паза с короткозамкнутыми витками (*б*)

В нижней части передней панели расположены пять зажимов. Крайний правый зажим служит для присоединения заземляющего провода; зажимы «Вых. имп.» — для присоединения последовательно соединенных испытываемых обмоток или возбуждающего электромагнита приспособления; зажимы «Сигн. явл.» — для подключения подвижного электромагнита приспособления или соединения средней точки испытываемых обмоток. Масса аппарата — 10 кг.

Для выявления пазов, в которых находятся короткозамкнутые витки обмоток, пользуются приспособлением с двумя П-образными электромагнитами на 100 и 2000 витков (рис. 171, *б*). Катушку неподвижного электромагнита (100 витков) присоединяют к зажимам «Вых. имп.» аппарата, а катушку подвижного электромагнита (2000 витков) — к зажимам «Сигн. явл.», при этом средняя ручка должна быть поставлена в крайнее левое положение «Работа с приспособлением».

При перестановке обоих электромагнитов приспособления с паза на паз сердечника на экране электронно-лучевой трубки будут наблюдаться:

прямая или кривая линия с малыми амплитудами, что будет свидетельствовать об отсутствии в пазу короткозамкнутых витков;

две кривые линии с большими амплитудами, вывернутыми по отношению друг к другу, что указывает на наличие в пазу короткозамкнутых витков.

По этим характерным кривым и находят пазы с короткозамк-

нутыми витками обмотки статора трехфазной или однофазной машины переменного тока, фазного ротора асинхронного электродвигателя, якоря коллекторной машины.

Установка для испытания изоляции обмоток повышенным напряжением монтируется либо в специальном шкафу, корпус которого надежно заземляется, либо за ограждением. На рис. 172 показана одна из возможных схем такой установки. Для регулирования напряжения служит индукционный регулятор *5* (в небольших установках здесь может быть использован потенциометр или лабораторный автотрансформатор ЛАТР). Защитное сопротивление *6* предохраняет регулятор от перегрузки при пробое изоляции и уменьшает искажение формы кривой синусоидального испытательного напряжения. Шаровой разрядник *8* предохраняет испытываемую обмотку от повышения напряжения сверх заданного значения. Чтобы при пробивании шарового разрядника не происходило короткого замыкания повышающего испытательного трансформатора *7*, в цепь разрядника включено добавочное сопротивление *9*.

Рис. 172. Схема установки для испытания изоляции повышенным напряжением:

1 — сеть переменного тока, *2* — рубильник, *3* — контактор, *4* — предохранители, *5* — индукционный регулятор напряжения, *6* — защитное сопротивление, *7* — повышающий испытательный трансформатор, *8* — шаровой разрядник, *9* — добавочное сопротивление, *10* — измерительный трансформатор напряжения

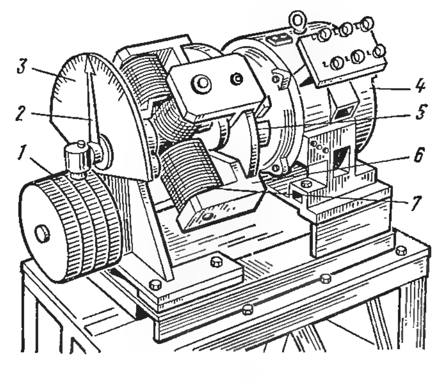


Рис. 173. Электромагнитный тормоз для испытаний электродвигателей под нагрузкой:

1 — противовес, *2* — стрелка, *3* — шкала, *4* — испытуемый электродвигатель, *5* — стальной диск, *6* — полюс, *7* — катушка электромзгнита

Дверцы шкафа или ограждения установки нужно оборудовать выключателем, автоматически отключающим установку при открывании двери, и красной сигнальной лампой, зажигающейся при включении установки.

Установка для испытаний электродвигателей под нагрузкой обычно нужна для послеремонтных испытаний. На рис. 173 показан электромагнитный тормоз такой установки. Конец вала испытываемого электродвигателя *4* сочленяется с валом массивного стального диска *5* с помощью эластичной кулачковой муфты. Диск охвачен четырьмя полюсами *6*, которые привинчены к электромагнитам с катушками *7*, полярность которых чередуется. Катушки электромагнитов соединены последовательно и питаются постоянным током (обычно от выпрямителя). Вся магнитная система собрана на отдельном валу, опирающемся на шарикоподшипники. К концу вала прикреплены противовес *1* и стрелка *2*, которая размещена напротив неподвижной шкалы *3*. Шкала обычно проградуирована в килограммометрах.

Тормозной момент (нагрузка) на валу испытываемого электродвигателя создается за счет взаимодействия появляющихся во вращающемся диске вихревых токов с магнитным полем полюсов электромагнитов. Под действием тормозного момента магнитная система установки поворачивается и стрелка отклоняется. Величина тормозного момента регулируется путем изменения силы тока в катушках электромагнитов с помощью реостата.

Предремонтные испытания электрических машин и трансформаторов проводятся в том случае, если путем осмотра не удается установить характер и причину неисправности, или характер и объем требуемого ремонта. Наиболее часто повреждаются обмотки, причем одной из главных причин выхода обмоток из строя является их чрезмерный перегрев из-за перегрузок или иных нарушений нормального режима работы.

Неисправности обмоток могут быть механическими и электрическими. К механическим неисправностям относятся появления вмятин на обмотках, разрушение креплений обмоток, разрывы изоляционных прокладок, сползание или разрыв бандажей роторов электрических машин, обрыв проводников соединения обмотки якоря с коллектором и т. д. Электрическими неисправностями являются витковые замыкания, пробой изоляции на корпус, нарушение контаков в местах пайки и др.

Для уточнения неисправностей в обмотках поступающих в ремонт электрических машин и трансформаторов в процессе проведения предремонтных испытаний чаще всего приходится пользоваться следующими видами измерений и испытаний:

измерение сопротивления изоляции обмотки мегаомметром; эти измерения следует проводить при температуре обмотки не ниже +10°С, причем мегаомметром на соответствующее данной обмотке напряжение; после выполнения операции измерения сопротивления изоляции мегаомметром необходимо для безопасности ремонтного персонала снимать электрический заряд с обмотки путем наложения заземления;

измерение сопротивления обмотки постоянному току; при таком измерении проверяется целость обмотки и мест соединения (пайки) ее отдельных частей; результаты измерений сопостав-

ляются с соответствующими данными завода-изготовителя или с данными предыдущих измерений; при проведении этих измерений часто пользуются описанным выше универсальным мостом или проводят измерение сопротивления методом амперметра — вольтметра (рис. 174);

испытание обмотки повышенным напряжением выпрямленного тока; при этом испытании зачастую удается установить место скрытого повреждения изоляции обмотки (в этом месте появляется искрение); пользуются этим методом также для того, чтобы прожечь изоляцию обмотки в том месте, где она ослаблена.

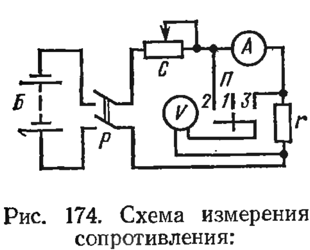


Рис. 174. Схема измерения сопротивления:

r — измеряемое сопротивление, *Б* — источник питания (аккумуляторная батарея), *Р* — двухполюсный рубильник, *С* — регулируемое сопротивление (реостат), *П* — переключатель на три положения, *А* — амперметр, *V* — вольтметр

Следует отметить, что для определения некоторых дефектов трансформатора могут потребоваться предремонтные испытания, связанные с включением обмоток трансформатора под напряжение. В таких случаях необходимо проверить наличие масла в трансформаторе и убедиться в его достаточно высоком качестве (путем проведения предусмотренных ГОСТом анализов и испытаний).

Промежуточный пооперационный контроль и испытания в процессе выполнения ремонта обмоток необходимы для обеспечения высокого качества ремонта. Основное внимание при контроле и испытаниях должно быть обращено на проверку электрической прочности изоляции обмоток, потому что, как показывает опыт эксплуатации, подавляющее большинство выходов из строя электрических машин и трансформаторов происходит из-за нарушения изоляции между витками обмотки и между обмоткой и корпусом.

В процессе изготовления обмоток при ремонте электрических машин и трансформаторов контроль и необходимые испытания производят при каждом переходе от одной технологической операции к другой. Проверяют размеры катушек и секций, их сопротивление, сопротивление изоляции, отсутствие обрывов, плохих контактов, замыканий между изолируемыми друг от друга проводами, правильность соединений отдельных элементов обмотки между собой, с выводными зажимами или коллекторными пластинами и т. д. При испытаниях отдельные элементы обмотки и обмотка в целом подвергаются действию повышенных напряжений, токов, частоты вращения.

Поскольку, как отмечено выше, особое внимание при ремонте уделяется электрической прочности изоляции обмоток, то на отдельных этапах как элементы обмотки, так и вся она в целом подвергаются испытаниям повышенным напряжением. По мере выполнения операций изготовления обмотки и движения к завершающей стадии испытательные напряжения снижаются, приближаясь к наименьшим допустимым, предусмотренным соответству-

ющими нормами. Это объясняется тем, что после выполнения очередных технологических операций сопротивление изоляции элементов обмотки может снижаться, и если на последующих стадиях ремонта не снижать испытательных напряжений, то это может привести к пробою изоляции в такой момент готовности обмотки, когда для устранения дефекта потребуется переделка всей ранее проделанной работы.

Испытательные напряжения должны быть такими, чтобы в процессе испытаний выявлялись дефектные участки, но в то же время не повреждалась исправная часть изоляции.

В табл. 23 для примера приведены испытательные напряжения по ходу процесса ремонта обмоток электрических машин с номинальным напряжением до 550 В.

Таблица 23. **Испытательные напряжения при ремонте обмоток электрических машин**

Объект испытаний	Испытательное напряжение, В, при номинальном напряжении машины, В		
	до 230	400	550
Изготовленная или переизолированная катушка после укладки в пазы и заклиновки, но до соединения схемы	2000	2300	2600
То же, но после соединения, пайки и изолировки схемы	1700	2000	2200
Старая катушка, не демонтированная из пазов	1300	1600	1800
Вся обмотка после соединения схемы, при частичном ремонте обмоток	1100	1440	1680

Примечание. Продолжительность испытания 1 мин.

При ремонте обмоток обычно измеряют сопротивление изоляции элементов обмотки или обмотки в целом до и после пропитки и сушки. Сопротивление изоляции обмоток электрических машин напряжением до 500 В, измеренное мегаомметром на 1000 В после пропитки и сушки, должно быть не ниже: после полной перемотки обмоток — у статора 3 МОм, у ротора 2 МОм; после частичной перемотки обмоток — у статора 1 МОм, у ротора 0,5 МОм. Указанные сопротивления изоляции обмоток не нормированы, а рекомендуются исходя из практики ремонта и эксплуатации отремонтированных электрических машин.

Послеремонтным испытаниям подвергаются, как правило, все отремонтированные электрические машины и трансформаторы. Поскольку к отремонтированным электрическим машинам и трансформаторам, в которых заменены обмотки, предъявляются практически те же требования, что и к новым, то послеремонтные (приемные) испытания производятся применительно к программе и

Таблица 24. Виды испытаний электрических машин

№ п/п	Наименование испытания	Асинхронные машины	Синхронные машины	Машины постоянного тока
1	Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками	К, Т*	К, Т	К, Т
2	Измерение сопротивления обмоток постоянному току в практически холодном состоянии	К, Т	К, Т	К, Т
3	Испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность	К, Т	К, Т	К, Т
4	Испытание междувитковой изоляции обмоток на электрическую прочность	К, Т	К, Т	К, Т
5	Испытание при повышенной частоте вращения (при замене обмоток якоря, ротора, бандажей)	К, Т	К, Т	К, Т
6	Обкатка на холостом ходу (проверка температуры подшипников, осевого перемещения ротора — для машин с подшипниками скольжения — и состояния механизма короткого замыкания — для асинхронных двигателей с фазным ротором, у которых такой механизм имеется)	К, Т	К, Т	К, Т
7	Определение тока и потерь холостого хода	К, Т	—	—
8	Определение характеристики холостого хода	—	К, Т	Т
9	Определение тока возбуждения генератора или частоты вращения двигателя на холостом ходу	—	—	К, Т
10	Определение тока и потерь короткого замыкания	К, Т	—	—
11	Определение коэффициента трансформации (для двигателей с фазным ротором)	К, Т	—	—
12	Испытание на нагревание	Т	Т	Т
13	Испытание на кратковременную перегрузку по току	Т	Т	—
14	Определение кпд, cos φ и скольжения	Т	—	—
15	Определение максимального вращающего момента	Т	—	—
16	Определение минимального вращающего момента (для двигателей с короткозамкнутым ротором)	Т	—	—
17	Определение начального пускового вращающего момента (для асинхронных и синхронных двигателей) и начального пускового тока (для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных двигателей)	Т	Т	—
18	Определение номинального тока возбуждения	—	Т	—

№ п/п	Наименование испытания	Асинхронные машины	Синхронные машины	Машины постоянного тока
19	Определение кпд	—	Т	Т
20	Определение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения	—	Т	—
21	Проверка номинальных данных и коммутации	—	—	К, Т
22	Определение внешней характеристики генераторов и рабочей (скоростной) характеристики электродвигателей	—	—	Т

* К — испытание входит в объем контрольных испытаний; Т — испытание входит в объем типовых испытаний.

методике контрольных испытаний, предусмотренных соответствующими ГОСТами.

В последующих параграфах настоящей главы даны основные сведения о программе и методах проведения послеремонтных контрольных испытаний различных видов электрических машин и силовых трансформаторов.

§ 59. Послеремонтные контрольные (приемные) испытания электрических машин

Все электрические машины после ремонта должны быть подвергнуты соответствующим испытаниям. При испытаниях, выборе измерительных приборов для них, сборке схемы измерений, подготовке испытуемой машины, установлении методики и норм испытаний, а также для оценки результатов испытаний следует руководствоваться соответствующими ГОСТами.

После капитального ремонта электрической машины, если при этом не изменены ее мощность или частота вращения, машина испытывается по программе контрольных испытаний. Если же при капитальном ремонте машины ее мощность или частота вращения изменена, то применяется программа типовых испытаний. Объем испытаний для асинхронных и синхронных машин, а также для машин постоянного тока приведен в табл. 24.

После среднего ремонта испытания проводятся только по пунктам 1, 3, 4 и 6 табл. 24, причем напряжение при испытании изоляции обмоток между собой и относительно корпуса на электрическую прочность должно составлять 85% от нормированного ГОСТ 183—74.

§ 60. Методы проведения некоторых видов испытаний электрических машин

Перед проведением испытаний необходимо убедиться в том, что все измерительные приборы, которыми придется пользоваться при испытании, прошли соответствующую проверку и имеют клеймо или паспорт.

При электрических измерениях следует пользоваться приборами класса точности не ниже 0,5 (за исключением измерения сопротивления изоляции). Измерение мощности допускается производить трехфазным ваттметром класса точности 1. Приборы следует подбирать так, чтобы измеряемые значения величин находились в пределах от 20—25 до 90—95% шкалы прибора.

При проведении измерений какой-либо величины несколькими приборами отсчеты по всем приборам следует производить одновременно. Это обстоятельство следует учитывать при размещении приборов на рабочем месте.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками обычно выполняется мегаомметром, рассчитанным на соответствующее напряжение. Сопротивление изоляции обмоток измеряют при практически холодном состоянии машины, т. е. температура обмотки не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на ±3°С.

Сопротивление изоляции обмотки при рабочей температуре машины относительно корпуса и между обмотками должно быть не меньше, чем значение, определяемое по формуле $r = U/(1000 + 0{,}01\,P)$, и не меньше чем 0,5 МОм.

В формуле приняты следующие обозначения: r — сопротивление изоляции, МОм; U — номинальное напряжение обмотки, В; P — номинальная мощность машины, кВ·А.

Если сопротивление изоляции обмоток измеряется при температуре ниже рабочей, то полученное по приведенной выше формуле значение сопротивления удваивается на каждые 20°С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и той, при которой выполнено измерение.

Для низковольтных электрических машин значение сопротивления изоляции обмоток, подсчитанное по формуле, получается небольшим и поэтому у исправных машин сопротивление изоляции практически всегда оказывается более высоким.

У электродвигателей с фазным ротором сопротивление изоляции измеряется отдельно для обмоток статора и ротора. Если начала и концы отдельных фаз обмотки выведены наружу, то сопротивление изоляции измеряют отдельно для каждой фазы относительно корпуса и между обмотками.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току выполняют обычно либо с помощью измерительного моста, либо методом амперметра и вольтметра. При этом методе измерение производится по схеме рис. 174. С помощью реостата C устанавливают ток в измеряемом сопротивлении таким образом, чтобы стрелки прибо-

ров (амперметра и вольтметра) отклонились не менее чем на 20% шкалы. При включении или выключении схемы переключатель П следует установить в положение *1*, что поможет предохранить вольтметр от возможного толчка тока.

При измерении малых сопротивлений переключатель *П* должен находиться в положении *3*. В этом случае измеряемое сопротивление находят по формуле $r=U/(I-U/r_в)$, где U—измеренное напряжение, В; I — измеренная сила тока, А; $r_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра, Ом. Внутреннее сопротивление вольтметра обычно во много раз больше измеряемого малого сопротивления, поэтому если оно неизвестно, то величиной $U/r_в$ в формуле можно пренебречь.

При измерении больших сопротивлений переключатель *П* устанавливают в положение *2*. В этом случае измеряемое сопротивление определяется по формуле $r=(U-Ir_а)/I$, где $r_а$ — внутреннее сопротивление амперметра, Ом. Поскольку внутреннее сопротивление амперметра во много раз меньше измеряемого большого сопротивления, то если оно неизвестно, величиной $Ir_а$ в числителе формулы можно пренебречь.

При измерении методом вольтметра и амперметра схема должна быть собрана таким образом, чтобы исключить влияние переходных контактов. Так, при измерении этим методом сопротивления обмотки фазного ротора цепь вольтметра подключают не к щеткам, а непосредственно к контактным кольцам.

При измерении сопротивлений за измеренную величину принимают среднее значение из трех измерений, произведенных одно за другим. Результаты каждого измерения не должны отличаться от среднего значения более чем на ±2%. Все три измерения проводят при разных значениях тока, не превышающих 20% номинального тока обмотки.

Температура обмотки во время измерения сопротивления должна быть точно зафиксирована. За температуру обмотки длительно отключенной электрической машины (для машины мощностью до 100 кВт — не менее 8 ч) можно принимать температуру окружающей среды, подсчитанную как среднее арифметическое из значений измерений температуры в трех-четырех точках вокруг машины. В остальных случаях температуру обмотки измеряют термометром, закладываемым внутрь обмотки не позднее чем за 30 мин до начала измерений.

Измеренные сопротивления принято пересчитывать на температуру +15°С. Для медной обмотки пересчет ведется по формуле $r_{15}=r\cdot 250/(235+t)$, если же обмотка алюминиевая, то формула для пересчета сопротивления такова: $r_{15}=r\cdot 260/(245+t)$. В этих формулах r_{15} — сопротивление, приведенное к 15°С, Ом; r — измеренное сопротивление, Ом; t — температура обмотки при измерении, °С.

Определение коэффициента трансформации электродвигателя с фазным ротором производится по формуле $K_т=U_{с.ф}/U_{р.ф}$, где

$U_{с.ф}$ — фазное напряжение обмотки статора, В; $U_{р.ф}$ — фазное напряжение обмотки ротора, В.

Перед началом испытаний от обмотки ротора отключается пусковой реостат и обмотка размыкается. К обмотке статора подводят напряжение, близкое к номинальному (для машин с напряжением до 500 В). Измеряют три линейных напряжения на зажимах статора и находят их среднюю величину $U_с$. Затем измеряют три напряжения между контактными кольцами ротора и также находят их среднюю величину $U_р$. Если обмотка статора соединена в звезду, то $U_{с.ф}=U_с/\sqrt{3}$, а если в треугольник, то $U_{с.ф}=U_с$. Аналогичным образом определяется и фазное напряжение обмотки ротора.

Испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками проводится на неподвижной машине в практически холодном ее состоянии. Это испытание выполняют, как правило, после испытания по определению тока и потерь короткого замыкания и после испытания на нагревание (если оно выполняется), а у машин постоянного тока — после испытания на повышенную частоту вращения и после проверки коммутации при кратковременной перегрузке по току.

Для испытания электрической прочности изоляции применяют переменное испытательное напряжение частотой 50 Гц. Испытательные напряжения для обмоток различных видов электрических машин приведены в табл. 25.

Испытательное напряжение должно быть практически синусоидальным. Испытание начинают с испытательного напряжения, не превышающего 35% указанного в табл. 25, и доводят его до полного значения плавно или ступенями по 5—10% в течение 10—15 с. Время выдержки полного испытательного напряжения —

Таблица 25. **Напряжения при испытании электрической прочности изоляции обмоток**

Виды электрических машин или их части	Испытательные напряжения, кВ
Машины мощностью менее 1 кВт (1 кВ·А) при номинальном напряжении $U_н$ ниже 0,1 кВ	$0,8\ (U_н+0,5)$
Машины мощностью от 1 кВт (1 кВ·А) и более при номинальном напряжении $U_н$ ниже 100 В	$0,8\ (2U_н+1)$
Машины мощностью до 1000 кВт (1000 кВ·А) при номинальном напряжении $U_н$ выше 0,1 кВ	$0,8\ (2U_н+1)$, но не менее 1,2
Обмотки возбуждения синхронных генераторов и двигателей	Восьмикратное номинальное напряжение возбуждения, но не менее 1,2 и не более 2,8
Возбудители синхронных генераторов	То же
Обмотки фазных роторов электродвигателей	$1,5\ U_{рот}$ ($U_{рот}$ — напряжение на контактных кольцах при разомкнутом неподвижном роторе и полном напряжении на статоре), но не менее 1

Примечание. В таблице даны действующие значения напряжения.

не менее 1 мин. В течение этого времени не должны наблюдаться толчки на стрелке вольтметра, измеряющего приложенное напряжение, треск и скользящие разряды, а также резкое изменение потребляемого тока. После окончания испытания напряжение постепенно снижают (до 35% полного испытательного напряжения) и отключают.

В тех случаях, когда при ремонте электрической машины сохранена часть обмотки, бывшая в эксплуатации, испытательное напряжение для обмотки, включающей эту часть, снижают на 25% по сравнению с указанной в табл. 25 величиной.

В трехфазных обмотках, имеющих выведенные начала и концы фаз, испытанию подвергают изоляцию каждой фазы при остальных фазах обмотки, присоединенных к заземленному корпусу. Если же начала и концы всех фаз не выведены, то испытывают изоляцию всей трехфазной обмотки целиком по отношению к заземленному корпусу.

В машинах постоянного тока отдельно испытывают изоляцию цепи якоря совместно с последовательной (сериесной) обмоткой возбуждения, обмоткой дополнительных полюсов и компенсационной обмоткой. Параллельную (шунтовую) обмотку возбуждения считают отдельной обмоткой и прочность ее изоляции испытывают отдельно.

Одна из возможных схем установок для испытания изоляции обмоток повышенным напряжением уже была описана.

Во всех случаях при проведении испытаний электрической прочности обмоток повышенным напряжением необходимо обеспечить полную безопасность работающих. Испытываемые машины следует поместить в изолированную огороженную камеру на заземленную подставку. Дверь и пол камеры должны иметь блокировочные контакты, включенные в схему испытательной установки таким образом, чтобы исключить возможность подачи высокого напряжения при нахождении человека внутри камеры.

Испытание междувитковой изоляции обмоток на электрическую прочность у асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, у синхронных генераторов и у электродвигателей постоянного тока проводится при холостом ходе машины (причем у двигателей постоянного тока — при наивысшей регулируемой частоте вращения). Испытание, как правило, проводят путем повышения подводимого (для электродвигателей) или генерируемого (для генераторов) напряжения на 30% сверх номинального. Однако у машин постоянного тока с числом полюсов более четырех испытательное напряжение не должно быть больше значения, при котором среднее напряжение между смежными коллекторными пластинами составляет 24 В. Испытание синхронных генераторов ведут при напряжении, соответствующем току возбуждения номинального режима, но не менее чем на 30% превышающем номинальное напряжение.

У машин переменного тока допускается при повышении напряжения одновременное повышение частоты, но не более чем на

15% сверх номинальной. У машин постоянного тока прочность витковой изоляции испытывают после проведения испытания на повышенную частоту вращения.

Продолжительность испытания 5 мин. В течение этого времени не должны наблюдаться признаки пробоя витковой изоляции (толчки потребляемого тока или подводимого напряжения, треск, ненормальный нагрев отдельных катушек и витков, появление дыма, вращение разомкнутого ротора и т. д.).

Для питания схемы испытания междувитковой изоляции обмоток электрических машин на электрическую прочность обычно применяют потенциал-регулятор.

Определение тока и потерь холостого хода асинхронного электродвигателя проводится при номинальном напряжении и номинальной частоте. К статору электродвигателя подводят трехфазное симметричное синусоидальное напряжение. Трехфазное напряжение считается практически симметричным, если измеренные величины трех линейных напряжений трехфазной системы отличаются от их средней величины не более чем на 4,5%.

Во время испытания измеряют подведенные линейные напряжения между всеми тремя фазами, токи во всех трех фазах и потребляемую мощность, а также вычисляют коэффициент мощности. Измерение мощности обычно производится по схеме двух ваттметров. В зависимости от мощности электродвигателя амперметры и токовые цепи ваттметров включают либо через трансформаторы тока, либо непосредственно. Коэффициент мощности ($\cos\varphi_0$) вычисляют по формуле $\cos\varphi_0 = P_0/(\sqrt{3}U_0I_0)$, где P_0 — потребляемая мощность, Вт; U_0 — среднее арифметическое значение напряжения по показаниям трех вольтметров, включенных между линейными проводами питания трехфазной обмотки, В; I_0 — среднее арифметическое значение тока по показаниям трех амперметров, измеряющих токи в линейных проводах, А.

Перед опытом холостого хода электродвигатель должен быть обкатан и проработать без нагрузки при мощности машины до 10 кВт — не менее 15 мин, при мощности от 10 до 100 кВт — не менее 30 мин, а при мощности свыше 100 кВт — не менее 75 мин.

Ток холостого хода трехфазных электродвигателей государственными стандартами не нормирован, однако опыт показывает, что эти токи не должны быть больше значений, показанных на рис. 175, а неравномерность токов холостого хода по фазам не должна превышать ±4,5% от их средней величины. При проведении опыта холостого хода надо следить за тем, чтобы частота питающей сети не отличалась от номинала более чем на ±1%.

Определение тока и потерь короткого замыкания асинхронного электродвигателя выполняется по данным опыта короткого замыкания. При проведении опыта короткого замыкания ротор двигателя затормаживается, фазная обмотка ротора закорачивается (у двигателей с фазным ротором), а к обмотке статора подается питание трехфазным пониженным симметричным синусоидальным напряжением номинальной частоты. Пониженное напряжение, по-

даваемое при опыте короткого замыкания на обмотку статора двигателя, зависит от ее номинального напряжения и мощности машины. Обычно это напряжение составляет примерно 25% номинального.

При опыте короткого замыкания измеряют подводимое напряжение (на всех трех фазах), ток короткого замыкания (во всех

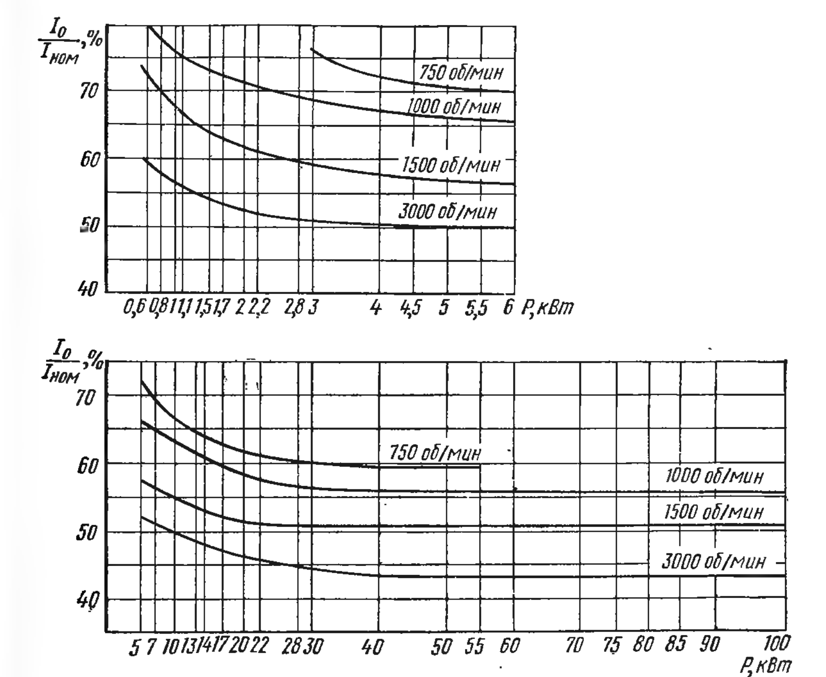


Рис. 175. Кривые предельных значений отношения тока холостого хода к номинальному для электродвигателей до 100 кВт:
I_0 — ток холостого хода, $I_{ном}$ — номинальный ток, P — мощность электродвигателя

трех фазах) и потребляемую мощность. По результатам измерений определяют коэффициент мощности ($\cos\varphi_к$) при коротком замыкании по формуле $\cos\varphi_к = P_к/(\sqrt{3}U_к I_к)$, где $P_к$ — потребляемая мощность при коротком замыкании, Вт; $U_к$ — среднее арифметическое от трех линейных напряжений, измеренных при опыте, В; $I_к$ — среднее арифметическое значение трех измеренных токов при опыте короткого замыкания, А.

В качестве источника питания при проведении опыта короткого замыкания применяют либо потенциал-регулятор, либо трансформатор с регулируемым напряжением.

Испытание на нагревание электрической машины, предназначенной для продолжительного режима работы, производят при номинальной нагрузке до практически установившейся темпера-

туры отдельных частей машины (когда изменение их температуры не превышает 1°С за 1 ч).

Для сокращения времени испытаний, если его начинают на практически холодной машине, вначале ей дают нагрузку 110—120% номинальной мощности в течение 15—20 мин. Контроль за ходом нагревания машины во время испытаний осуществляется термометрами (термопарами, термосопротивлениями), прикладываемыми к доступным поверхностям собранной машины. Если термометры устанавливаются в местах, где имеются переменные магнитные поля, то следует применять спиртовые термометры, так как в ртути возникают при этом вихревые токи, которые нагревают ее и термометр дает искаженные результаты измерений. При установке термометров принимаются меры для улучшения контакта его чувствительной части с поверхностью, на которой измеряется температура, для чего используют фольгу, а место контакта защищают от охлаждения ватой, войлоком и т. п.

При проведении испытания на нагревание основной задачей является определение установившегося значения превышения температуры активных частей машины над температурной окружающей среды. Для машин, охлаждаемых воздухом, температура окружающего воздуха измеряется несколькими термометрами, расположенными в разных точках вокруг машины на высоте, равной половине высоты машины, и на расстоянии 1—2 м от нее. При этом принимают меры для защиты термометров от случайных потоков воздуха, от прямых лучей солнца и других подобных воздействий, которые могут исказить результаты измерений. За температуру окружающей среды (охлаждающего машину воздуха) принимают среднюю арифметическую величину показаний всех термометров.

Продолжительность испытаний на нагревание, т. е. время, необходимое для достижения практически установившейся температуры, зависит от мощности (размеров) машины и частоты ее вращения: чем больше машина, тем больше требуется времени при прочих равных условиях, и наоборот, чем машина быстроходнее, тем быстрее достигается установившаяся температура. Приближенно время, необходимое для достижения машиной установившейся температуры, может быть оценено по величине отношения ее номинальной мощности $P_н$ (В·А) к номинальной частоте вращения $n_н$ (об/мин). Так, если $P_н/n_н$ не превышает 10, то длительность испытаний на нагревание составляет не более 2 ч, при $P_н/n_н$ от 10 до 30 — не более 3 ч, от 30 до 100 — не более 4 ч, от 100 до 200 — 5 ч, от 200 до 300 — 6 ч и т. д.

Предельные значения допустимого превышения температуры различных частей электрической машины над температурой окружащей среды в зависимости от класса изоляции и метода измерения приведены в табл. 26.

Измерение превышения температуры обмоток статора асинхронного электродвигателя и синхронного генератора, а также обмотки фазного ротора и обмотки якоря коллекторной машины

Таблица 26. **Предельные значения допустимого превышения температуры различных частей электрических машин**

Наименование частей электрических машин	Класс изоляционных материалов							
	A		E		B		F	
	При измерении методом							
	термометра	сопротивления	термометра	сопротивления	термометра	сопротивления	термометра	сопротивления
Обмотка статора, а также обмотка ротора (при нескольких витках в пазу) асинхронной машины; обмотка статора синхронной машины	50	60	65	75	70	80	85	100
Стержневая обмотка ротора асинхронной машины	65	65	80	80	90	90	110	110
Якорная обмотка, соединенная с коллектором, а также обмотка возбуждения машины постоянного тока и переменного тока (кроме указанных в двух следующих пунктах)	50	60	65	75	70	80	85	100
Однорядная обмотка возбуждения с оголенными поверхностями	65	65	80	80	90	90	110	110
Компенсационная обмотка	60	60	75	75	80	80	100	100
Коллекторы и контактные кольца	60	—	70	—	80	—	90	—
Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с обмотками	60	—	75	—	80	—	90	—

Примечания: 1. Предельно допустимые превышения температуры обмоток по первым четырем пунктам таблицы, измеренные методом сопротивления для закрытых машин напряжением не более 1500 В, допускается повышать на 5°С. 2. Для частей машин, выпущенных до 1966 г., предельно допустимые превышения температуры могут быть повышены на 5°С при условии, что температура окружающего воздуха не превышает + 35°С. 3. При температуре охлаждающего воздуха меньше + 40°С предельно допустимые превышения температуры по настоящей таблице могут быть увеличены соответственно разности между температурой охлаждающего воздуха и температурой + 40°С, но не более чем на 10°С.

обычно выполняется методом сопротивления, а превышение температуры стальных проволочных бандажей и контактных колец — термометром в конце испытания на нагревание после остановки машины.

Измерение превышения температуры обмотки возбуждения производят на вращающейся машине методом сопротивления в продолжение всего испытания на нагревание через каждые 20—30 мин.

Во время испытаний на нагревание измеряют также (обычно термометром) температуру подшипников, которая не должна превышать 80°С у подшипников скольжения и 100°С у подшипников качения.

При использовании метода сопротивления температура обмотки определяется по изменению ее сопротивления постоянному току по сравнению с этой величиной, измеренной при практически холодной машине. В этом случае пользуются следующей формулой: $\tau_{гор} = \frac{r_{гор} - r_x}{r_x}(235 + \Theta_x) + \Theta_x - \Theta_0$,

где $\tau_{гор}$ — искомое превышение температуры обмотки, °С; $r_{гор}$ — измеренное сопротивление нагретой обмотки, Ом; r_x — сопротивление обмотки в практически холодном состоянии, Ом; Θ_x — температура практически холодной обмотки, °С; Θ_0 — температура охлаждающей среды, °С.

Рис. 176. Кривая остывания электрической машины (в полулогарифмических координатах)

Если обмотка алюминиевая, то применяют такую же формулу, но число 235 в ней заменяется на 245.

Следует помнить, что методом сопротивления определяется среднее значение превышения температуры обмотки над температурой окружающей среды. Этот метод не позволяет выявить местные перегревы обмотки, если таковые имеются.

В тех случаях, когда при испытаниях на нагревание измерение температуры производят на остановленной машине после окончания испытания, необходимо стремиться к тому, чтобы эти измерения выполнялись не позднее чем через 15—20 с после отключения машины. Если это невозможно, то температуру, которая была в момент отключения машины, определяют по кривой остывания. Для построения такой кривой после выключения машины измеряют превышение температуры соответствующего узла (например, обмотки статора методом сопротивления) 5—6 раз через фиксированные промежутки времени. На рис. 176 показано построение кривой остывания электрической машины в полулогарифмических координатах. Здесь по оси абсцисс отложено время каждого измерения (после отключения машины) t_1, t_2, t_3 и т. д., а по оси ординат — логарифмы чисел, соответствующих превышению температуры $\lg\tau_1$, $\lg\tau_2$, $\lg\tau_3$ и т. д. Получившуюся кривую остывания продолжают (экстраполируют) до пересечения с осью ординат и на пересечении находят логарифм числа, соответствующего превышению температуры в момент выключения двигателя, а по логарифму находят и само число. Применение в указанном построении не самих величин превышения температуры τ, а логарифмов соответствующих им чисел, увеличивает точность построения, так как

получающаяся кривая в этом случае очень близка к прямой линии.

Если после отключения машины температура какой-либо части сначала возрастает, а потом начинает убывать, то за температуру, соответствующую моменту выключения, принимают наибольшее из измеренных ее значений.

Во время испытания на нагревания через небольшие промежутки времени (не реже чем каждые 30 мин) регулярно измеряют потребляемую (для двигателя) или отдаваемую (для генератора) мощность, линейное напряжение, токи в фазах, коэффициент мощности, частоту вращения, а также температуры частей машины и окружающего воздуха.

Для создания на валу испытуемого электродвигателя необходимой нагрузки применяют различные тормозные устройства. Одно из таких устройств — электромагнитный тормоз — было уже описано. Иногда для этих целей используют вентиляторную нагрузку, создаваемую надеваемым на вал вентилятором с лопатками, угол наклона которых можно регулировать.

Рис. 177. Определение характеристики холостого хода синхронного генератора:

I — возрастающая ветвь, *II* — убывающая ветвь, *III* — характеристика холостого хода

При испытании на нагревание генераторов для создания нагрузки обычно используются реостаты.

Характеристика холостого хода синхронного генератора представляет собой зависимость при холостом ходе машины развиваемого ею линейного напряжения U_0 от тока возбуждения $I_в$.

Для снятия характеристики генератор приводят во вращение с номинальной частотой. Опыт начинают с измерения линейного напряжения холостого хода при нулевом значении тока возбуждения. Затем цепь возбуждения генератора включают и с помощью реостата постепенно ступенями увеличивают ток возбуждния генератора, доводя его до такой величины, при которой напряжение холостого хода становится на 10—15% больше номинального напряжения. На каждой ступени (их обычно 7—8) измеряют ток возбуждения $I_в$ и три значения линейных напряжений (между выводами фаз). Линейное напряжение на данной ступени определяют как среднее арифметическое из трех измеренных линейных напряжений. По найденным значениям U_0 и измеренным значениям $I_в$ строят возрастающую ветвь характеристики холостого хода (рис. 177, кривая *I*).

Далее ток возбуждения постепенно, ступенями, снижают, доводя его до нулевого значения. На каждой из 7—8 ступеней проводят измерение тока возбуждения и всех трех линейных напряжений генератора, определяя величину U_0 как среднее арифметическое по данным этих измерений. Затем строят убывающую ветвь

характеристики холостого хода генератора (кривая *II*), которая лежит выше возрастающей ветви. За действительную характеристику холостого хода принимают кривую *III* (на рисунке обозначена пунктиром), лежащую между возрастающей и убывающей ветвями и проходящую через нуль графика.

При каждом отсчете показаний измерительных приборов одновременно измеряют и частоту вращения генератора. Если она отличается от номинальной, в определенное напряжение холостого хода U_0 вносят поправку на частоту вращения, умножая U_0 на отношение n/n_1, где n — номинальная, а n_1 — измеренная частота вращения.

На характеристике холостого хода отмечают точку, соответствующую номинальному напряжению генератора, и находят ток возбуждения, при котором напряжение генератора на холостом ходу равно номинальному.

По результатам измерений линейных напряжений на холостом ходу судят о симметричности создаваемой генератором трехфазной системы напряжений. Эта система считается практически симметричной, если любое линейное напряжение отличается от их средней величины не более чем на ±4,5%.

Характеристика трехфазного короткого замыкания синхронного генератора представляет собой зависимость при коротком замыкании всех трех фаз линейного тока $I_{к.з}$ генератора от тока возбуждения $I_в$.

Для снятия характеристики замыкают накоротко между собой все три фазы генератора и приводят его во вращение с частотой вращения, близкой к номинальной. Короткозамыкающая перемычка должна быть надежно присоединена, а сечение ее должно быть выбрано так, чтобы при токе короткого замыкания, равном номинальному, плотность тока в перемычке не превышала 3 А/мм². В цепь каждого линейного вывода обмотки статора через трансформатор тока включают амперметр, причем все три трансформатора тока и три амперметра должны быть одинаковыми.

Реостатом в цепи возбуждения устанавливают ток возбуждения, при котором ток короткого замыкания составляет 30—35% номинального тока генератора. Одновременно измеряют ток возбуждения $I_в$ и три значения тока в линейных выводах обмотки статора. Изменяя реостатом ток в цепи возбуждения, доводят тремя-четырьмя ступенями ток короткого замыкания до 80—90% номинального тока обмотки статора генератора, измеряя каждый раз токи короткого замыкания и ток возбуждения. Ток короткого замыкания на каждой ступени определяют как среднее арифметическое от трех измеренных токов в линейных выводах обмотки статора.

По полученным данным строят характеристику короткого замыкания (рис. 178), которая, как правило, имеет вид прямой линии, проходящей через нуль графика. Поэтому для построения полной характеристики трехфазного короткого замыкания достаточно провести измерения в трех-четырех точках.

Частота вращения генератора при снятии этой характеристики обычно не измеряется, поскольку изменение частоты вращения генератора в пределах ±20% номинальной практически не влияет на величину тока короткого замыкания, так как этот ток прямо пропорционален эдс и обратно пропорционален индуктивному сопротивлению генератора, которые одинаково изменяются с изменением частоты.

На характеристике короткого замыкания отмечают точку, соответствующую номинальному току генератора, и находят ток возбуждения, при котором ток трехфазного короткого замыкания в обмотке статора будет равен номинальному току.

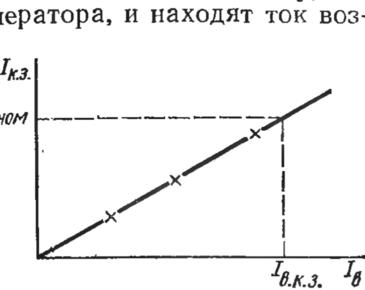


Рис. 178. Характеристика короткого замыкания

По результатам измерений, проводимых при этих испытаниях, судят о симметричности трехфазной системы токов генератора. Эта система считается практически симметричной, если любой из трех линейных токов генератора отличается от их средней величины не более чем на 4,5%.

Испытание при повышенной частоте вращения машины постоянного тока проводят, повышая ее частоту вращения на 20% сверх номинальной. Машина должна выдержать повышенную частоту вращения в течение 2 мин без каких-либо повреждений и остаточных деформаций.

После испытания при повышенной частоте вращения проводят испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмотки якоря.

Характеристика холостого хода машины постоянного тока определяется при работе машины в режиме ненагруженного генератора. Характеристика представляет собой зависимость напряжения холостого хода на якоре U_0 от тока возбуждения $I_в$ при номинальной частоте вращения машины. Испытания по снятию этой характеристики проводят, как правило, после испытания электрической прочности междувитковой изоляции обмотки якоря.

Если в процессе проведения испытаний частоту вращения не удается поддерживать все время постоянной и равной номинальному значению, то одновременно с измерением тока возбуждения и соответствующего ему напряжения холостого хода измеряется (тахометром) частота вращения якоря. В случае если частота вращения при этом отличается от номинальной, в результате измерения напряжения вносят поправку по формуле $U_0 = Un_н/n$, где U_0 — напряжение холостого хода якоря с поправкой на частоту вращения, В; U — измеренное напряжение холостого хода якоря, В; $n_н$ — номинальная частота вращения, об/мин; n — измеренная частота вращения, об/мин.

Характеристику начинают снимать с наибольшего значения тока возбуждения и постепенно, пятью-шестью ступенями его

уменьшают, доводя в конце испытания до нулевого значения. Для получения характеристики холостого хода, проходящей через начало координат, снятую характеристику смещают по оси абсцисс на величину отрезка AO, полученного путем графической экстраполяции характеристики до пересечения с осью абсцисс (рис. 179).

Рис. 179. Характеристика холостого хода машины постоянного тока

Проверку номинальных данных машины постоянного тока, указанных на ее щитке, проводят при номинальном режиме работы в течение не менее 60 мин. При этом как для генератора, так и для двигателя определяют ток возбуждения при номинальных нагрузке и частоте вращения, а для двигателя, кроме того, частоту вращения при номинальных нагрузке и токе возбуждения.

Во время этого опыта производят также оценку степени искрения под сбегающим краем щетки (табл. 27).

Степень искрения на коллекторе после 60 мин работы при номинальном режиме должна быть не более $1^1/_2$.

Проверка коммутации при кратковременной перегрузке машины постоянного тока производится при повышении тока на 50% сверх номинального значения в течение 1 мин. Степень искрения при этом должна быть не выше 2 (табл. 27).

Таблица 27. **Оценка степени искрения коллекторных машин**

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щеток	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью щеток	Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протиранием коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки	Появление следов почернения на коллекторе, не устраняемых протиранием поверхности бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

§ 61. Послеремонтные испытания силовых трансформаторов

В объем испытаний силовых трансформаторов мощностью до 10 000 кВ·А и напряжением до 35 кВ после их капитального ре-

монта входят: а) проверка коэффициента трансформации; б) проверка группы соединения обмотки; в) измерение сопротивления обмоток постоянному току; г) испытание электрической прочности пробы масла; д) измерение сопротивления изоляции; е) испытание электрической прочности изоляции; ж) измерение потерь и тока холостого хода; з) измерение напряжения и потерь короткого замыкания; и) проверка бака трансформатора на плотность. Испытания по пунктам а, б, в рекомендуется проводить до испытаний по пунктам ж, з. Испытания по пунктам г, д, е, ж должны проводиться в той последовательности, в какой они перечислены.

Проверка коэффициента трансформации. Коэффициентом трансформации называют отношение напряжения на обмотке высшего напряжения (ВН) к напряжению на обмотке низшего напряжения (НН) при холостом ходе трансформатора. Это отношение дает также возможность установить, правильное ли число витков в обмотках.

Для определения коэффициента трансформации ГОСТ рекомендует три метода, в том числе метод двух вольтметров, который является наиболее простым и наиболее подходящим для условий ремонтных мастерских, хотя по точности он несколько уступает двум другим рекомендуемым методам.

Коэффициент трансформации определяется для всех ответвлений обмоток и для всех фаз.

Рекомендуется измерять коэффициент трансформации трехфазных трансформаторов путем одновременного измерения линейного напряжения на обмотке ВН и линейного напряжения на обмотке НН при трехфазном возбуждении. Допускается также определение коэффициента трансформации по измеренным фазным напряжениям соответствующих фаз (если это технически возможно) при однофазном или трехфазном возбуждении.

При испытании рекомендуется подводить пониженное напряжение, но не менее 1% номинального.

Коэффициент трансформации вычисляют путем деления измеренного напряжения обмотки ВН на напряжение обмотки НН с точностью до четвертого знака, поэтому применение для деления логарифмической линейки не рекомендуется.

Особое внимание при опыте должно быть уделено симметричности подводимого к трансформатору трехфазного напряжения. Хотя система трехфазных напряжений считается практически симметричной, если каждое линейное напряжение отличается не более чем на 4,5% от среднего арифметического трех линейных напряжений, однако даже при такой относительно небольшой несимметрии при определении коэффициента трансформации по линейным напряжениям возможны ошибки, значительно превышающие допустимые.

Поэтому при наличии несимметрии питающей трехфазной системы напряжений (даже в пределах 4,5% среднего арифметического значения) рекомендуется определять коэффициент трансформации путем измерения фазных напряжений. Если это практиче-

ски невыполнимо (из-за недоступности нулевой точки), допускается при испытании трехфазных трансформаторов со схемой соединения обмоток треугольником или звездой производить определение коэффициента трансформации по следующей методике. Одну из фаз обмотки, соединенной в треугольник (например, фазу A), замыкают накоротко перемычкой на соответствующих линейных зажимах. Затем при однофазном возбуждении измеряют линейные напряжения обмоток ВН и НН оставшейся свободной пары фаз (рис. 180). Отношение указанных напряжений равно $2k_ф$ — при «звезде» на стороне ВН (рис. 180, *а*) или $^1/_2 k_ф$ — при «треугольнике» на стороне ВН (рис. 180, *б*), где $k_ф$ — фазный коэффициент трансформации. Аналогичным образом производят измерения при короткозамкнутых фазах B и C.

Рис. 180. Схема измерений для определения фазного коэффициента трансформации при недоступности нулевой точки:

а — «звезда» из стороне ВН, *б* — «треугольник» на стороне ВН; *1* — короткозамыкающая перемычка, *V* — вольтметр

Допускается отклонение измеренного коэффициента трансформации от расчетного не более чем на ±1% для трансформаторов с фазным коэффициентом трансформации 3 и менее и не более ±0,5% для всех остальных трансформаторов.

При измерении фазных коэффициентов трансформации следует иметь в виду следующие соотношения между фазным коэффициентом трансформации $k_ф$ и линейным $k_л$:

а) обе обмотки (ВН и НН) трансформатора соединены одинаково (обе в «звезду» или обе «в треугольник»), $k_ф = k_л$;

б) обмотка ВН соединена в «звезду», а обмотка НН — в «треугольник», $k_ф = k_л/\sqrt{3}$;

в) обмотка ВН соединена в «треугольник», а обмотка НН — в «звезду», $k_ф = \sqrt{3} \cdot k_л$.

Проверка группы соединения обмоток. Как известно, номер группы соединения указывает величину углового смещения векторов линейных эдс обмотки НН по отношению к векторам соответствующих (одноименных) эдс обмотки ВН. Если один из векторов линейного напряжения обмотки ВН мысленно совместить с минутной стрелкой часов, направленной на число 12 циферблата, а соответствующий вектор обмотки НН — с часовой стрелкой часов, то она укажет на циферблате номер группы соединения обмоток трансформатора. Такой метод обозначения группы соединения называется часовым. Если номер группы соединения умножить на 30, то получим величину угла смещения в градусах между векторами линейных эдс обмоток НН и ВН.

Та или иная группа соединения может получиться в результате различной намотки обмоток (правая или левая) и различного соединения начал и концов фаз обмоток при их соединении в «звезду», «треугольник» или «зигзаг».

В соответствии с ГОСТом для всех трехфазных трансформаторов допускается только группа соединения 0 (ноль)* и 11. Для однофазных трансформаторов допускается только группа соединения 0. На рис. 181 показаны отвечающие этим требованиям схемы

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов э.д.с.		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	
A B C X Y Z	0 a b c x y z	B A C	b a c	–0 (группа 0)
A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b c a	–11 (группа 11)
0 A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b c a	–11 (группа 11)
A B C X Y Z	0 a b c	B A C		–11 (группа 11)
A B C X Y Z	0 a b c x y z	B A C	b c a	Δ –11 (группа 11)
A X	a x	A X	a x	1/1–0 (группа 0)

Рис. 181. Схемы и группы соединений обмоток трехфазных и однофазных двухобмоточных трансформаторов

соединения обмоток ВН и НН трехфазных и однофазных двухобмоточных трансформаторов, а также соответствующие диаграммы векторов фазных эдс и условные обозначения.

Ошибка в выполнении группы соединений отремонтированного трансформатора может повлечь за собой тяжелые последствия при включении его на параллельную работу с другими трансформаторами. Проверку группы соединений производят одним из сле-

* Ранее эта группа соединения обозначалась номером 12.

дующих методов: прямым методом (фазометром), методом двух вольтметров и методом постоянного тока. В условиях электроремонтных предприятий можно рекомендовать для всех трансформаторов первые два метода. Метод постоянного тока следует применять только для проверки однофазных трансформаторов.

Прямой метод проверки группы соединения требует применения специального прибора — четырехквадрантного фазометра. Последовательную обмотку фазометра присоединяют через реостат с большим сопротивлением к зажимам одной из обмоток, а параллельную обмотку фазометра — к одноименным зажимам другой обмотки проверяемого трансформатора. К трансформатору подводят небольшое напряжение, достаточное для того, чтобы стрелка фазометра отклонилась. Отклонение покажет угол сдвига между векторами линейных эдс в градусах. Разделив это показание на 30, получим номер группы соединения в часовом исчислении. Иногда шкалу фазометра, предназначенного для проведения проверки группы соединения отремонтированных трансформаторов, перерадуируют соответствующим образом, с тем чтобы стрелка прямо показывала номер группы соединения.

При определении группы соединения трехфазных трансформаторов необходимо произвести не менее двух измерений для двух пар соответствующих зажимов.

Метод двух вольтметров применяют в тех случаях, когда нет фазометра. Для проверки трансформатора этим методом соединяют между собой одноименные зажимы обмоток НН и ВН одной из фаз, например зажимы A и a. К обмотке НН подводят пониженное напряжение $U_{нн}$ и измеряют последовательно напряжения между зажимами b—B; b—C; c—B (для трехфазных трансформаторов), или напряжение между зажимами x—X (при испытании однофазных трансформаторов). Измеренные напряжения сравнивают с соответствующими расчетными напряжениями, вычисленными по формулам, приведенным в табл. 28, где $k_л$ — линейный коэффициент трансформации проверяемого трансформатора (расчетный). Если измеренные и расчетные значения напряжений совпадают, то это указывает на соответствие группы соединения.

Следует отметить, что этот метод дает удовлетворительные результаты лишь при строгой симметрии трехфазной системы напряжений, питающих трансформатор во время проверки. Если трехфазная система несимметрична, то такой метод проверки ненадежен.

Метод постоянного тока применяют для проверки группы соединений однофазных трансформаторов. Для трехфазных трансформаторов этот метод неудобен из-за необходимости проводить слишком много измерений.

При проверке группы соединения однофазного трансформатора методом постоянного тока к обмотке ВН, т. е. к зажимам A—X через рубильник подключают какой-либо источник постоянного тока, например аккумулятор с небольшим напряжением, рас-

Таблица 28. **Определение группы соединения обмоток трансформатора по коэффициентам трансформации**

Группа соединения	Сдвиг векторов линейных напряжений	Возможные схемы соединения обмоток	$U_{в—В}$ или $U_{х—Х}$	$U_{в—С}$	$U_{с—В}$
0 (12)	0 (360)	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Z или $^1/_1$	$U_{нн}\ (k_л - 1)$	$U_{нн}\sqrt{1 - k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 - k_л + k_л^2}$
1	30	Y/Δ; Δ/Y; Y/Z	$U_{нн}\sqrt{1 - \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 - \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л^2}$
2	60	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Z	$U_{нн}\sqrt{1 - k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\ (k_л - 1)$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л + k_л^2}$
3	90	Y/Δ; Δ/Y; Y/Z	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 - \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$
4	120	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Z	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 - k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\ (1 + k_л)$
5	150	Y/Δ; Δ/Y; Y/Z	$U_{нн}\sqrt{1 + \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$
6	180	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Y или $^1/_1$	$U_{нн}\ (k_л + 1)$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л + k_л^2}$
7	210	Y/Δ; Δ/Y; Y/Z	$U_{нн}\sqrt{1 + \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л^2}$
8	240	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Z	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\ (k_л - 1)$	$U_{нн}\sqrt{k - k_л + k_л^2}$
9	270	Y/Δ; Δ/Δ; Y/Z	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 - \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$
10	300	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Z	$U_{нн}\sqrt{1 - k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\ (k - 1)$
11	330	Y/Δ; Δ/Y; Y/Z	$U_{нн}\sqrt{1 - \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 + k_л^2}$	$U_{нн}\sqrt{1 - \sqrt{3}\ k_л + k_л^2}$

считанным так, чтобы ток в обмотке не превышал 1% номинального. Плюс источника постоянного тока подключают к зажиму *A*.

Магнитоэлектрическим вольтметром проверяют полярность («+» или «—») на зажимах *A* и *X*. Убедившись в том, что «+» источника подключен к зажиму *A*, вольтметр отсоединяют от зажимов обмотки ВН и подключают к выводам обмотки НН, причем так, чтобы «+» вольтметра был присоединен к зажиму *a*, а «—» — к зажиму «*x*».

Если теперь включить рубильником цепь тока в обмотке ВН, то в момент включения стрелка магнитоэлектрического вольтметра, подключенного к зажимам обмотки НН, отклонится. Если отклонение стрелки направлено в положительную сторону, то группа соединения у проверяемого трансформатора нулевая (12-я), если же отклонение стрелки направлено в отрицательную сторону, то группа соединения шестая.

Измерение сопротивления обмоток трансформатора постоянному току производят для всех доступных ответвлений обмоток всех фаз. Измеряют, как правило, сопротивления между линейными зажимами. При доступности нулевого зажима допускается измерение фазных сопротивлений при условии, что сопротивление цепи нулевого зажима не превышает 2% фазного сопротивления обмотки.

При измерении сопротивления фиксируют температуру обмотки. За температуру обмотки длительно отключенного масляного трансформатора допускается принимать температуру верхних слоев масла в трансформаторе, а если отключенный трансформатор длительно находился в среде с практически неизменной температурой — температуру окружающей среды (воздуха).

Метод измерения сопротивления обмоток трансформатора постоянному току практически не отличается от описанных выше методов измерения сопротивления обмоток машин.

Ток при измерениях методом падения напряжения (методом амперметра и вольтметра) не должен превышать 20% номинального тока данной обмотки трансформатора. Отклонение измеренных величин от расчетных не должно превышать 2%.

Испытание электрической прочности пробы масла. Трансформаторное масло должно удовлетворять следующим требованиям по пробивному напряжению (табл. 29).

Таблица 29. **Требования к трансформаторному маслу по пробивному напряжению**

Номинальное напряжение трансформаторов, кВ	Напряжение пробоя не менее, кВ	
	свежее масло	эксплуатационное масло
До 10	35	20
От 11 до 35	35	25
» 35 » 220	40	35

Испытание трансформаторного масла производится с помощью специальных аппаратов (например, АМИ-60). Пробу масла для трансформаторов напряжением 35 кВ и выше, а также при мощности трансформатора свыше 1000 кВ·А при любом напряжении необхо-

димо брать из бака трансформатора. Для трансформаторов меньшей мощности и меньшего напряжения допускается при определенных условиях брать пробу масла не из бака, а из емкости, в которой оно хранится.

Измерение сопротивления изоляции трансформатора должно производиться мегаомметром на напряжение 2000—2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10 000 МОм. Для трансформаторов мощностью до 630 кВ·А включительно допускается применение мегаомметров на напряжение 500 и 1000 В с пределом измерения 1000 МОм. Измерение должно проводиться при температуре верхних слоев масла не ниже +10°С. На трансформаторах мощностью 1000 кВ·А и выше измерение допускается производить не ранее чем через 12 ч после заливки бака маслом. Перед началом каждого измерения испытуемая обмотка должна быть заземлена в течение не менее 2 мин.

Отсчет сопротивления изоляции производят дважды — через 15 с (R_{15}) и через 60 с (R_{60}) после приложения напряжения.

Измерение производится при следующих схемах соединения: при измерении сопротивления изоляции обмотки НН обмотка ВН и бак заземляются; при измерении сопротивления изоляции обмотки ВН заземляются обмотка НН и бак; при измерении сопротивления изоляции обмоток по отношению к баку (это измерение производится у трансформаторов мощностью более 1000 кВ·А) обмотки ВН и НН соединяют между собой, а бак заземляют.

При измерении сопротивления изоляции провод от бака присоединяют к зажиму *З* (земля) мегаомметра, а провод от обмотки — к зажиму *Л* (линия); при измерении сопротивления изоляции между обмотками провод от обмотки НН следует присоединить к зажиму *З*, а от обмотки ВН к зажиму *Л*.

Измеренные значения R_{15} и R_{60} дают возможность определить коэффициент абсорбции обмоток трансформатора: $K_{60}=R_{60}/R_{15}$.

Показатели R_{15}, R_{60} и K_{60} не являются нормированными, поскольку их величины зависят не только от состояния изоляции, но и от размеров и конструкции трансформатора.

На практике обычно считают, что при неувлажненной изоляции и температурах обмоток порядка 20—30°С коэффициент абсорбции K_{60} должен быть не ниже 1,3.

Испытание электрической прочности изоляции. Электрическую прочность изоляции трансформаторов испытывают двумя методами:

приложением повышенного напряжения нормальной частоты (при этом испытанию подвергается главная изоляция трансформатора);

индуктированием в самом трансформаторе повышенного напряжения частоты от 100 до 400 Гц (при этом испытанию подвергается в основном продольная изоляция трансформатора).

При испытании приложенным повышенным напряжением нормальной частоты выводы обмоток ВН и НН закорачивают (каждой обмотки отдельно), одну из обмоток и бак трансформатора

заземляют, а повышенное напряжение от испытательной установки (испытательного трансформатора) подводится к незаземленной обмотке (второй вывод испытательной установки заземлен).

Сначала испытывают обмотку НН, а затем ВН. Напряжение повышают постепенно, сначала от нуля до 40% с произвольной скоростью, а затем плавно со скоростью 3% напряжения в 1 с.

Мощность испытательной установки (испытательного трансформатора) должна быть не меньше 1% мощности испытываемого трансформатора. Регулирующее устройство (регулировочный автотрансформатор, потенциал-регулятор и т. п.) устанавливается на низковольтной стороне испытательного трансформатора.

При испытании повышенное напряжение выдерживается в течение 1 мин. Затем напряжение плавно снижают в течение 5 с до значения 25—30%, после чего его отключают.

Испытание повышенным приложенным напряжением проводится при температуре верхних слоев масла порядка +20°С и не раньше чем через 10—20 ч (в зависимости от мощности) после заливки масла (чтобы из масла выделились пузырьки воздуха).

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если во время испытания не произошло пробоя изоляции, перекрытия, выделения газов или дыма, а также снижения испытательного напряжения.

Испытательные напряжения при испытаниях главной изоляции масляных трансформаторов приложением повышенного напряжения нормальной частоты приведены в табл. 30.

Таблица 30. **Испытательные напряжения главной изоляции обмоток масляных трансформаторов (вместе с вводами) при частоте 50 Гц**

Условия испытаний	Класс изоляции обмоток по напряжению, кВ						
	до 0,525	3	6	10	15	20	35
1. Заводское испытательное напряжение, кВ	5	18	25	35	45	55	85
2. Испытательное напряжение после капитального ремонта:							
с частичной сменой обмоток и изоляции (0,9 от п. 1), кВ	4,5	16	22	31	40	49	76
без смены обмоток и изоляции (0,85 от п. 1), кВ	4,25	15,3	21,2	29,6	34,0	46,7	72,2

Примечание. После капитального ремонта с полной сменой обмоток и изоляции в условиях ремонтного завода принимается заводская норма испытательного напряжения (п. 1).

Испытание продольной изоляции индуктированным напряжением, обязательное для новых трансформаторов, рекомендуется производить и на отремонтированных трансформаторах (при наличии технической возможности). Испытание проводится в режиме холостого хода путем приложения к вводам одной из обмоток

двойного номинального напряжения при повышенной частоте 100—400 Гц. Повышенная частота необходима для того, чтобы избежать чрезмерного увеличения намагничивающего тока.

Время испытания — 1 мин при частоте 100 Гц. При более высокой частоте время испытания пропорционально уменьшают, но оно не должно быть меньше 20 с. Подъем и снятие испытательного индуктированного напряжения производится плавно, так же, как и при испытании приложенным напряжением промышленной частоты.

Измерение потерь и тока холостого хода. При проведении этих испытаний к одной из обмоток трансформатора (обычно к обмотке НН) подводится номинальное напряжение номинальной частоты; вторая обмотка разомкнута.

Подводимое напряжение должно быть практически синусоидальной формы, и при испытании трехфазных трансформаторов система подводимых трехфазных напряжений должна быть практически симметричной, т. е. каждое из линейных напряжений не должно отличаться от среднего арифметического более чем на ±4,5%.

Во время опыта измеряют потери и ток холостого хода трансформатора, т. е. потребляемые при холостом ходе мощность и ток. У трехфазных трансформаторов потребляемую мощность измеряют, как правило, методом двух ваттметров; ток измеряется во всех трех линейных проводах. Одновременно измеряются все три подведенных к трансформатору линейных напряжения.

При опыте холостого хода коэффициент мощности очень мал, поэтому рекомендуется применять для этих испытаний малокосинусные ваттметры, например типа Д542 класса точности 0,5.

За ток холостого хода при испытании трехфазных трансформаторов принимают среднее арифметическое из показаний трех амперметров, а за значение подведенного напряжения — среднее арифметическое из показаний трех вольтметров.

Измеренные при опыте холостого хода потери могут превышать нормированное значение на 15%, а измеренный ток холостого хода может превышать нормированное значение на 30%.

Если при опыте холостого хода частота отличалась от номинальной (что допускается в пределах ±2%), необходимо изменить и подведенное напряжение, В, согласно формуле $U_f = U_н f'/50$, где f' — действительная частота, Гц; $U_н$ — номинальное напряжение, В; U_f — необходимое значение испытательного напряжения, В. При этом измеренное значение тока принимают равным действительному значению тока холостого хода, а измеренные потери пересчитывают по формуле $P_0 = \dfrac{P'_0(1+\alpha)}{\left(\dfrac{f'}{50}\right)^2 + \alpha\dfrac{f'}{50}}$, где P_0 — потери, измеренные при частоте f', Вт; $\alpha = 4$ — для горячекатаной стали; $\alpha = 1$ — для холоднокатаной стали.

Если напряжение при опыте (U') отличалось от номинального

значения ($U_н$), то измеренное значение потерь (P_0') приводят к номинальным условиям по формуле $P_0 = P_0'\left(\frac{U_н}{U'}\right)^2$.

В том случае, когда при опыте холостого хода одновременно отличались от номинальных значений и частота и напряжение, приведение измеренных потерь P_0' к номинальным условиям производится по формуле $P_0 = P_0'\left(\frac{U_н}{U'}\right)^2 \frac{1+\alpha}{1+\alpha\frac{50}{f'}}$.

Измерение потерь и напряжения короткого замыкания. Этот опыт выполняют следующим образом. Одну из обмоток трансформатора, обычно обмотку НН, замыкают на зажимах накоротко. Другую обмотку питают от источника регулируемого напряжения переменного тока номинальной частоты. Напряжение питания регулируют так, чтобы в обмотке трансформатора установился номинальный ток.

При опыте измеряют значение тока во всех трех линейных проводах, все три линейных напряжения, а также потребляемую трансформатором мощность (обычно по схеме двух ваттметров). Значение тока и напряжения определяют как среднее арифметическое из показаний приборов трех фаз.

При опыте фиксируют температуру верхних слоев масла, которую принимают за температуру обмоток.

Испытание разрешается проводить при токе I', не меньшем чем $^1/_4$ номинального тока; при этом измеренное напряжение короткого замыкания и потери короткого замыкания приводятся к номинальному току по формулам:

для напряжения короткого замыкания

$$U_к = \frac{U_к' I_н}{U_н I'} 100\%;$$

для потерь короткого замыкания

$$P_к = P_к'\left(\frac{I_н}{I'}\right)^2.$$

В этих формулах $U_к'$ — измеренное напряжение при опыте, В; I' — ток при опыте, А; $P_к'$ — потери, измеренные при опыте, Вт.

Приведенные к номинальному току потери короткого замыкания $P_к$ должны быть затем приведены к номинальной температуре 75°С по формуле $P_{к.н} = P_к k_t$, где $k_t = 310/(235+t)$ — для медной обмотки или $k_t = 320/(245+t)$ — для алюминиевой обмотки; t — температура обмоток при опыте, °С.

Приведенное к номинальному току напряжение короткого замыкания $U_к$ должно быть приведено к номинальной температуре в том случае, если активная составляющая этого напряжения $U_а$ превышает 15% полного напряжения короткого замыкания.

Активную составляющую, %, вычисляют по формуле

$$U_{а} = \frac{P_{к}}{10 \cdot P_{ном}},$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность, кВ·А.

Если эта составляющая превышает 15%, то приведение напряжения короткого замыкания к номинальной температуре производится по формуле

$$U_{к.н} = \sqrt{U_{к}^2 + U_{а}^2 (k_t^2 - 1)}.$$

Когда частота при опыте f' отличается от номинальной, напряжение короткого замыкания приводят к номинальной частоте по формуле

$$U_{кfн} = U_{к} \frac{f_{н}}{f'}.$$

Разрешается отклонение от норм для мощности (потерь) короткого замыкания и напряжения короткого замыкания в пределах ±10%.

Проверка бака трансформатора на плотность. Эта проверка производится путем создания избыточного давления внутри бака столбом масла. Масло должно иметь температуру не ниже +10°С.

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если по прошествии 3 ч не обнаружено течи масла через неплотности в уплотнениях или через дефекты сварочных швов.

Контрольные вопросы

1. Для чего проводятся различные виды испытаний при ремонте?
2. Какие специальные приборы и устройства, используемые для испытаний при ремонте обмоток электрических машин и трансформаторов, вы знаете?
3. Расскажите о целях и содержании пооперационного контроля и испытаний при ремонте обмоток электрических машин и трансформаторов.
4. Какие послеремонтные испытания проводятся на асинхронных машинах?
5. Расскажите о методах проведения послеремонтных испытаний синхронных машин.
6. Каково содержание послеремонтных испытаний машин постоянного тока?
7. В чем заключаются послеремонтные испытания силовых трансформаторов?

ЛИТЕРАТУРА

Атабеков В. Б. Ремонт электрооборудования промышленных предприятий. М., 1979.

Герасимова Л. С. и др. Технология и механизация производства обмоток и изоляции силовых трансформаторов. М., 1979.

Дьяков В. И. Типовые расчеты по электрооборудованию. М., 1976.

Зимин В. И. и др. Обмотки электрических машин. М., 1975.

Кацман М. М. Электрические машины. М., 1976.

Кокорев А. С. Справочник молодого обмотчика электрических машин. М., 1979.

Клоков Б. К. Обмотчик электрических машин. М., 1982.

Копылов И. П. и др. Проектирование электрических машин. М., 1980.

Минскер Е. Г., Дымков А. М., Силич И. В. Электромонтер-обмотчик по ремонту трансформаторов. М., 1979.

Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. М., 1976.

Перельмутер Н. М. Электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин. М., 1980.

ББК 31.26
П27
УДК 621.313

Рецензент: инж. А. С. Кокорев

Перельмутер Н. М.

П27 Электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин и трансформаторов: Учеб. пособие для средн. проф.-техн. училищ.— М.: Высш. шк., 1984.—328 с., ил.— (Профессионально-техническое образование).

В пер. 75 к.

В книге подробно освещена технология выполнения обмоточных и изолировочных работ при ремонте наиболее распространенных видов электрических машин и силовых масляных трансформаторов, рассмотрены применяемые при этом приемы, приспособления и оборудование. В ней даны также необходимые сведения о конструкции электрических машин и трансформаторов, схемах их обмоток и методах построения этих схем. Учебное пособие может быть использовано при профессиональном обучении рабочих на производстве.

П $\frac{2302030000-240}{052(01)-84}$ 20—84

ББК 31.26
6П2.1.081

НАУМ МОИСЕЕВИЧ ПЕРЕЛЬМУТЕР

ЭЛЕКТРОМОНТЕР-ОБМОТЧИК И ИЗОЛИРОВЩИК

по ремонту электрических машин и трансформаторов

Зав. редакцией Э. М. Концевая. Редактор М. И. Сорокина.
Художественный редактор Т. В. Панина. Художник В. П. Бабикова.
Технический редактор З. А. Муслимова. Корректор Р. К. Косинова.

ИБ № 3443

Изд. № ЭГ-15. Сдано в набор 16.11.83. Подп. в печать 04.04.84. Т-07334. Формат 60×90[1]/16. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 20,5 усл. печ. л. 20,5 усл. кр.-отт. 23,66 уч.-изд. л. Тираж 60 000 экз. Зак. № 748. Цена 75 коп.
Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.